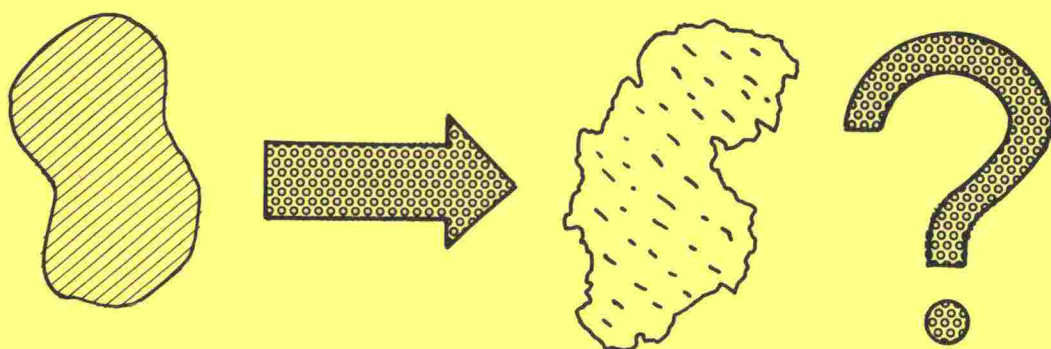


PÄÄLLYSTEALAN NEUVOTTELUKUNTA PANK

TERÄSTEOLLISUUDEN KUONAT JA NIIDEN KÄYTTÖ ERITYISESTI TIEPÄÄLLYSTEISSÄ



TVH 731614

A4 250.82

ISBN 951-46-5512-5

08

TIE"



82 0848

TIIVISTELMÄ	1
1. JOHDANTO	2
2. KUONIEN SYNTYMINEN	4
2.1 Masuunikuonat	4
2.11 Masuunikuonan koostumus ja ominaisuudet	4
2.12 Masuunikuonan käsittelytavat ja syntyvät määrät ..	5
2.2 Teräskuonat	8
2.21 LD-teräskuonien koostumukset ja ominaisuudet	8
2.22 Sähköteräskuonan koostumus ja ominaisuudet	9
2.23 Teräskuonien käsittelytavat ja syntyvät määrät ..	10
2.3 Jatkojalosteet	11
2.31 Jauhettu masuunikuona	11
3. KUONIEN KÄYTTÖALAT JA KYSYNTÄ	12
3.1 Yleistä	12
3.2 Käytön jakauma eräissä maissa	13
3.3 Käytön jakauma Suomessa	16
3.4 Käyttöaloittainen tarkastelu	13
3.41 Betoni- ja elementtiteollisuus	18
3.411 Runkoainekäyttö	18
3.412 Sideainekäyttö	19
3.42 Rautatierakennus	19
3.43 Maarakennuskohteet, kentät yms	20
3.44 Maanparannus	20
3.45 Mineraalivillateollisuus	20
3.46 Kuonakeramiikka	21
3.47 Hiekkapuhallusaine	21
3.48 Tien- ja kadunrakennus	21
3.49 Päällystetekniikka	23
3.491 Asfalttipäällysteen runkoaine- ja täyte- jauhekäyttö	23
3.492 Betonipäällysteen runkoaine- ja sideaine- käyttö	23
3.5 Kuonien tulevasta käytöstä Suomessa	24

	Sivu
4. TEKNINEN KÄYTTÖKELPOISUUS PÄÄLLYSTEISIIN	25
4.1 Asfalttipäällysteet	25
4.11 Käyttökelpoisuus runkoaineeksi	25
4.12 Käyttökelpoisuus täytejauheeksi	31
4.13 Erityisominaisuudet	31
4.2 Betonipäällyste	32
4.21 Käyttökelpoisuus runkoaineeksi	32
4.22 Käyttökelpoisuus sideaineeksi	33
4.23 Erityisominaisuudet	33
4.3 Muut käyttötarkoitukset	36
4.31 Betoniset reunakivet ja laatat	36
5. TALOUDELLISET KÄYTTÖEDELLYTYKSET PÄÄLLYSTEISSÄ	36
5.1 Kuonien hinnat v. 1981	36
5.2 Kuljetuskustannukset	37
5.3 Luonnon kiviainesten saatavuus ja maksetut hinnat v. 1981	40
5.4 Kuonien kilpailukyky	40
5.5 Liikevaihtoveron, kuljetustuen ja paluukuljetusten vaikutus	45
5.6 Eräiden kuonapäällysteiden ominaisuuksien vaikutus kustannuksiin	45
6. MAHDOLLISUUDET VAIKUTTAA KUONIEN OMINAISUUKSIIN	49
7. MUUT KUIN TALOUDELLISET JA TEKNISET KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT SEIKAT	50
7.1 Asenteet	50
7.2 Ohjeitten ja tiedotuksen puute	50
7.3 Ympäristönsuojelunäkökohdat	51
7.4 Työtekniikka	52
8. YHTEENVETO	53
9. SUOSITUKSET	
10. KIRJALLISUUSLUETTELO	59

TIIVISTELMÄ

Terästeollisuuden aloitteesta perustettu, sittemmin Päällystealan neuvottelukuntaan (PANK) liittynyt työryhmä on selvittänyt terästeollisuuden kuonamurskeiden ja jauhettujen kuonien käyttömahdollisuuksia tiepäällysteissä. Ovako Oy-Ab:n ja Rautaruukki Oy:n tehtailla syntyy nykyisin n. 600 000 t masuunikuonaa, n. 195 000 t LD-teräskuonaa, josta prosessiin palautuksen jälkeen jää käyttöön n. 65 000 t, ja n. 25 000 t sähköteräskuonaa. Masuunikuonaportlandsementtiä (seossuhde 50/50) on valmistettu vuosittain n. 10 000 t. Masuunikuonista on jäänyt käyttämättä n. 47 % ja LD-teräskuonista n. 42 % (1979).

Tehtyjen kirjallisuusselvitysten, laboratorio- ja kenttätutkimusten mukaan tulee kuonien edelleen hyödyntäminen tienrakennuksessa kyseeseen lähinnä seuraavissa päällystetarkoituksissa:

- masuunikuona öljysoran runkoaineena
- LD-teräskuona asfalttibetonin ja öljysoran runkoaineena sekä
- masuunikuonaportlandsementti sideaineena betonipäällysteiden, betonisten reunakivien ym. betonituotteiden valmistuksessa.

Käytettäessä masuunikuomanursketta päällysteen runkoaineena joudutaan käyttämään 0,2-1,0 %-yks. ja LD-teräskuonaa käytettäessä 0-0,6 %-yks. enemmän sideainetta kuin normaalisti. Tyhjätilat masuunikuonapäällysteillä muodostuvat helposti suuriksi 13-14 %. LD-teräskuonaa käytettäessä tyhjätilat ovat olleet 5-6 % luokkaa. Suurten tyhjätilojen vuoksi kuonapäällysteiden kulutuskestävyys on heikko. Masuunikuonapäällysteet kuluvat laboratoriokokeissa 4-5 kertaa ja LD-teräskuonista tehty päällyste 1,2-1,3 kertaa vertailupäällystettä nopeammin. Kenttäkokeissa on saatu vaihtelevia tuloksia. Sekä suurempi sideainetarve että huonompi kulutuskestävyys heikentävät kuonapäällysteen taloudellisia käyttöedellytyksiä. Toisaalta sideaineen parempi tartunta kuonarakeisiin ja kuonarakeilla aikaansaatava stabiili rakenne voivat lisätä päällysteen kestävyyttä jouduttaessa käyttämään heikkolaatuista sideainetta. Kuonapäällysteiden kitka voi alussa olla hieman parempi kuin normaali päällysteen, mutta se alenee varsin nopeasti.

Betonipäällysteessä ja ilmeisesti muidenkin tienrakennuksen betonituotteiden valmistuksessa voidaan portland-sementistä korvata n. 70 % masuunikuonajauheella. Kuonaa käytettäessä on betonin lujittumisnopeus ollut hitaampi ja vielä 90 vrk:n puristuslujuudet ovat jääneet heikommiksi kuin normaali betonilla. Loppulujuudet voivat kirjallisuustietojen mukaan nousta suuremmiksikin. Kuonan käytöllä saavutetaan eräitä etuja, mm. betonimassan työstettävyyys sekä suolan- ja pakkaskestävyys paranevat. Lisäksi on kuonabetonimassan hydratoitumislämpö alhainen.

1. JOHDANTO

Terästeollisuudessa syntyviä kuonia on Suomessa käytetty asfalttipääallysteissä pääasiassa tehtaiden sisäisillä teillä ja kentillä sekä kaupunkialueilla. Kokeiluista saadut varsin hyvät kokemukset, kirjallisuudesta muualta saadut tiedot kuonien käytöstä ja kiviainesten saannin vaikeutuminen kannustivat selvittämään laajemmin kuonien käyttömahdollisuutta asfalttipääallysteissä. Toisaalta asfalttipääallysteen sideaineen hinnan kohoaminen ja pääallysteille asetettavien vaatimusten tiukentuminen ovat johtaneet betonipääallysteiden käytöedellytysten parantamiseen ja siten betonitekniikassa kehitettyjen kuonasementtien käyttömahdollisuudet betonipääallysteen sideaineena oli myös aiheellista tutkia lähemmin.

Terästeollisuuden aloitteesta perustettiin 31.5.1979 asiaa selvittämään työryhmä, joka myöhemmin liittyi pääallystealan neuvottelukuntaan (PANK). Nimeksi valittiin Terästeollisuuden kuonien käyttöä tienpääallysteissä selvittävä työryhmä. Sen puheenjohtajana toimi dipl.ins. E. Matilainen tie- ja vesirakennushallituksesta, sihteerinä dipl.ins. E. Manninen valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratoriosta ja jäsenenä ins. E. Kajaus Ovako Oy-Ab:stä, tekn.lis. K. Karjalahti Rautaruukki Oy:stä, dipl.ins. M. Reihe tie- ja vesirakennushallituksesta ja fil.kand. R. Alkio valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratoriosta. Työryhmä piti yhteensä 16 kokousta. Työryhmä rajasi toimintansa koskemaan vain kuonien käyttöä erilaisissa tienpääallysteissä ja kuonien käyttö muissa sidotuissa tai sitomattomissa rakennekerroksissa jäi toiminnan ulkopuolelle. Lähemmän tarkastelun kohteeksi valittiin seuraavat Ovako Oy-Ab:n ja Rautaruukki Oy:n tehtailla tällä hetkellä syntyvät kuonat.

- Ovako Oy Ab:n Koverharin rauta- ja terästehtaan masuunikuona ja LD-teräskuona
- Ovako Oy-Ab:n Imatran terästehtaan sähköteräskuona
- Rautaruukki Oy:n Raahen rautatehtaan masuunikuona ja LD-teräskuona

Syntyviä kuonia voidaan käsitellä ja jatkojalostaa eri tavoin.

Työryhmä teetti valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratoriolla seuraavat tutkimukset:

- Terästeollisuuden kuonien käyttö tienpäällysteissä, laboratoriotutkimus, tutkimusselostus 207
- Terästeollisuuden kuonien käyttö tienpäällysteissä, kenttätutkimukset vuosina 1980 ja 1981, tutkimusselostukset 234 ja 299
- Esi- ja jatkotutkimus terästeollisuuden jauhetujen kuonien käytöstä betonipäällysteissä, tutkimusselostukset 197 ja 282

Päällystekohteitä työryhmä rakennutti seuraavasti:

- Ovako Oy-Ab:n sähköteräskuona asfalttipäällysteen runkoaineena vt:llä 6 Imatralla v. 1980
- Rautaruukki Oy:n LD-teräskuona öljysoran runkoaineena mt:llä 806 Rantsilassa v. 1980
- Rautaruukki Oy:n LD-teräskuona asfalttipäällysteen runkoaineena ja masuunikuonajauhe asfalttipäällysteen täytejauheena kt:llä 88 Raahessa v. 1981
- Ovako Oy-Ab:n masuunikuona öljysoran runkoaineena pt:llä 11061 Pohjassa v. 1981.

Teetetyt tutkimukset ja tehdyt kokeet koordinoitiin muuhun aiheeseen liittyvään tutkimustoimintaan nähden. Oheiseen työryhmän loppuraporttiin on koottu keskeinen tieto tiedossa olleista aiheeseen liittyvistä, Suomessa tehdyistä tutkimuksista ja kokeista. Lisäksi raporttia on täydennetty työryhmän jäsenten laatimilla erillisselvityksillä.

2. KUONIEN SYNTYMINEN

2.1 Masuunikuona

2.11 Masuunikuonan koostumus ja ominaisuudet

Kuonat ovat tärkeä osa raudan- ja teräksenvalmistusprosessia. Taloudellinen ja korkealaatuinen tuotanto edellyttää tarkkaa kuonien hallintaa.

Suomessa masuunikuonaa syntyy sivutuotteena raakaraudan valmistuksessa n. 300 kg raakaraudatonnia kohti. Kuona syntyy pelkistettäessä rautaoksidia hiilen avulla malmirikasteen sivukivestä sekä koksista ja kalkkikivestä. Kuonan varsinaisena tehtävänä on mahdollistaa tasainen sulaminen ja pelkistyminen masuunissa. Toinen tärkeä tehtävä kuonalla on raudan rikkipitoisuuden vähentäminen.

Kuonan ominaisuudet riippuvat sen kemiallisesta koostumuksesta, sekä sulan kuonan jäähdytysmenetelmästä. Näillä tekijöillä on suuri merkitys kuonan käyttöä suunniteltaessa. Masuunikuona koostuu pääasiassa kalsiumista, piistä, alumiinista ja magnesiumista (taulukko 1). Yli 95 % koko materiaalista on näitä alkuaineita oksideiksi laskettuna. Pääoksidit ovat sitoutuneet erilaisiksi silikaatti- ja alumiinisilikaattimine-raaleiksi kuten meliliitiksi, merviniitiksi, vollastoniitiksi jne. Lisäksi kuona sisältää pieniä määriä rauta-, mangaani-, kalium-, natrium-, titaani- ja vanadiiniyhdisteitä: FeO , MnO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , V_2O_5 .

Eri masuunien kuonat eroavat koostumukseltaan toisistaan, johtuen lähinnä käytettävistä raaka-aineista. Masuunikohtaisesti kuonille on ominaista suuri kemiallinen laaduntasaisuus.

Taulukko 1. Masuunikuonan koostumus oksideiksi laskettuna.

	Rautaruukki		Ovako	
CaO, %	36	-38	36	-46
MgO "	9	-12	7	-12
SiO ₂ "	36	-38	36	-38
Al ₂ O ₃ %	8	-10	8	-13
FeO "	0,4	-2,7	0,2	- 1,1
MnO "	0,7		0,7	
S "	1,5	-2,4	0,5	- 1,5
TiO ₂ "	1,5	-2,4	0,7	- 1,2
V ₂ O ₅ "	0,01	-0,06	0,01	- 0,1

2.12. Masuunikuonan käsittelytavat ja syntyvät määrät

Masuunista poistettaessa masuunikuonan lämpötila on 1400 - 1500° C. Jähmettyneen kuonan ominaisuudet riippuvat erittäin paljon kuonan jäähtymisnopeudesta. Kuonan jäähtytystavasta riippuen saadaan seuraavanlaisia tuotteita:

- Ilmajäähdytetty masuunikuona
- Granuloitu masuunikuona
- Pelletoitu masuunikuona
- Hohkakuona
- Kuonavilla

Ilmajäähdytetty masuunikuona

Perinteellisin ja yksinkertaisin masuunikuonan käsittelymuoto on ilmajäähdytteisen kappalekuonan nk. penkkakuonan valmistus. Tässä menetelmässä sula kuona kaadetaan kuljetussenkasta nk. kuonaojaan jäähtymään. Kuona jäähtyy hitaasti ympäristön lämpötilaan. Lisäksi kuonan jäähtymistä voidaan nopeuttaa suihkuttamalla sen päälle jonkin verran vettä. 3 - 4 viikon kuluttua jähmettynyt kuona irroitetaan kuonaojista puskutraktorin repijän tai kaivinkoneen avulla, murskataan ja seulotaan haluttuihin lajitteisiin. Syntynyt kuonamurske on fyysi-

kaalisesti lujaa, omaa hyvin epäsäännöllisen raemuodon, on kemiallisilta ominaisuuksiltaan pysyvää ja säännöllisen kiderakenteensa vuoksi ei sisällä sitovia ominaisuuksia.

Granuloitu masuunikuona

Masuunikuonaa granuloitaessa sula kuona kaadetaan ränniin, johon ohjataan korkeapaineiset vesisuihkut. Nopean jäähtymisen ansiosta kuona ei ehdi kiteytyä, vaan siitä muodostuu lasimainen, tasarakeista hiekkaa muistuttava tuote. Lasimaisuusaste on yleensä yli 90 %, jolloin granuloitu kuona omaa hyvät sitovat ominaisuudet. Nykyaikaisella hyvin hallitulla granulointitekniikalla voidaan saavuttaa jopa 98 - 99 %:n lasimaisuusaste.

Kuonan lasimaisuuteen granuloitaessa vaikuttavat sulan kuonan lämpötila kaadettaessa, jäähtymykseen käytettävän veden lämpötila, paine ja määrä (6-8 m³/tonni kuonaa)

Paras granuloitu kuona syntyy kuumasta ja riittävän emäksisestä kuonasta. Tällöin syntyvä granuli omaa hyvät sitovat ominaisuudet, on huokoinen ja helposti jauhautuva.

Pelletoitu masuunikuona

Masuunikuonaa pelletoitessa kaadetaan sula kuona ensin syöttölevylle, jolta kuona ohjataan siivekkeillä varustetulle pelletointirummulle. Rummun siivekkeissä on rakoja, joista suihkutetaan vettä. Tällöin kuona paisuuntuu ja nopeasti pyörivä rumpu rikkoo kuonan ja sinkoaa sen ilmaan riittävän pitkäksi ajaksi, jotta pintajännitykset ehtivät muotoilla pelletit lopulliseen muotoonsa. Syntyvään pellettikasaan suihkutetaan tarvittaessa vettä, joka estää vielä hehkuvien pellettirakeiden yhteensintraantumisen.

Pelletoinnissa käytettävä vesimäärä on huomattavasti pienempi kuin granuloinnissa, ainoastaan n. $1 \text{ m}^3/\text{tonni}$ sulaa kuonaa. Paras pelletointilämpötila on $1250 - 1350^\circ\text{C}$. Rummun pyörimisnopeudella voidaan kompensoida kuonan lämpötilan vaikutusta siten, että mitä kylmempää sula kuona on, sitä nopeammin rumppua pyöritetään. Kuonan rikkipitoisuudella on vaikutusta pelletoinnin onnistumiseen siten, että masuunikuona on hyvin pelletoituvaa, jos rikkipitoisuus on noin 1,2 %, ja kuona on huonosti pelletoituvaa, jos rikkipitoisuus on noin 2 %.

Granuliin verrattuna pelletti on suurirakeisempaa, huokoisempaa, kevyempää, kiteisempää ja helpommin jauhautuvaa.

Hohkakuona

Perinteisesti hohkakuonaa valmistetaan käsittelemällä sulaa kuonaa altapäin rajoitetulla vesimäärällä. Vesi höyrystyy ja muuttaa kuonan vaahdoksi, joka kovettuu. Tämän jälkeen yli 5 mm rakeet murskataan ja seulotaan.

Neuvostoliitossa on kehitetty ns. hydroscreeningmenetelmä, joka on tehnyt mahdolliseksi hohkakuonan menestyksellisen valmistamisen myös korkeamäksisistä kuonista.

Hohkakuonan etuina ovat: keveys $0,6 - 0,8 \text{ t/m}^3$, lämmöneristyskyky ja tulenkestävyys.

Hohkakuonaa ei valmisteta Suomessa.

Kuonavilla

Ilmajähdytettyä masuunikuonaa, joka on murskattu ja seulottu kappalekokoon 50 - 120 mm, on käytetty jossain määrin Suomessa mineraalivillan valmistukseen. Kuonan sulatus tapahtuu kupoliuunissa koksinkulutuksen ollessa 110-120 kg/t kuonaa. Oikean koostumuksen saavuttamiseksi seostetaan erilaisia luonnonkiviaineksia n. 10 %. Sulanut kuona tiputetaan korkeapaineiseen höyrysuihkuun. Höyryn vaikutuksesta sula kuona palloutuu ja edelleen puhallettaessa muodostuu pitkiä kuituja, jotka kerätään erilliseen säiliöön.

Valmistettaessa kuonavillaa suoraan sulasta kuonasta on saatavissa seuraavia etuja:

- kuonaa ei tarvitse jäähdyttää, murskata eikä seuloa
- kuonan varastointiongelmät vähenevät
- kuonan kuljetusmatkat lyhenevät
- kuonaa ei tarvitse uudelleen sulattaa, jolloin säästyy energiaa
- suorassa menetelmässä käytettävä väliuuni on halvempi kuin kupoliuuni
- yksinkertaiset ja halvat materiaalien annostelulaitteet

Mikäli tehtaat toimivat täydellä teholla syntyy masuunikuonaa seuraavasti:

Rautaruukki Oy, Raahe	450 000 t/a
Ovako Oy-Ab, Koverhar	150 000 t/a

2.2 Teräskuonat

2.21 LD-teräskuonien koostumukset ja ominaisuudet

Teräskuonat ovat perusominaisuuksiltaan monissa kohdin samantyyppisiä kuin masuunikuonat. Huomattava osa teräskuonasta kierrätetään uudelleen masuuniprosessiin sintterinvalmistuksen yhteydessä.

Kuonaa syntyy sulatuksesta riippuen 50 - 110 kg/terästonni. Emäksisyysaste puolestaan vaihtelee 3,0 - 5,0:n välillä (emäksisyysaste = $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}$)



LD-kuonan valmistukseen käytetään myös erilaisia fluksiaineita nopean kuonanmuodostuksen ja riittävän kuonan juoksevuuden säilymiseksi. Fluksiaineina käytetään bauksiittia (Al_2O_3 -pit. tuote)/fluspaattia (CaF_2) sekä LD-pölyä (Fe_2O_3). Taulukossa 2 on esitetty LD-kuonan koostumus.

Taulukko 2. LD-kuonan koostumus oksideiksi laskettuna.

		Ovako	Rautaruukki
CaO	%	55	52 %
SiO ₂	"	17	16
MgO	"	3	2
Al ₂ O ₃	"	5	2
V ₂ O ₅	"	2	1
P ₂ O ₅	"	1	0,3
S _{kok}	"	0,3	0,16
FeO	"	10 - 25	12 - 17

Rautaoksidi on sekä 2- että 3-arvoista (FeO ja Fe₂O₃). "FeO" vaihtelee sulan teräksen hiilipitoisuuden mukaan. Osa lisäystä kalkista ei ehdi liueta, varsinkaan korkeahiillisillä teräslaaduilla. Liukenemattoman CaO:n osuus on n. 5 % kuonan määrästä. Tämän sekä MgO:n hitaan hydratoitumisen johdosta voi tapahtua jopa 10 %:n tilavuuden laajeneminen. Käytännössä tämä on johtanut siihen, että teräskuonaa on säilytettävä kassassa vähintään 6 kk, ennenkuin sitä voidaan käyttää esim. tien rakennekerroksissa ja asfalttipäällysteen runkoaineena.

Kuonan kippaus konvertterista tapahtuu sulan teräksen kaadon jälkeen. Tällöin joutuu osa sulasta teräksestä kuonaan. Metallisen Fe:n määrä kuonassa on 5 - 15 %. Osa LD-kuonasta joutuu terässenkkaan sulan teräksen mukana. Se kipataan valun jälkeen kuonapataan.

2.22 Sähköteräskuonan koostumus ja ominaisuudet

Sähköteräskuonan koostumus ilmenee taulukosta 3.

Taulukko 3. Tyypillisen sähköteräskuonan koostumus oksideiksi laskettuna.

		Ovako
CaO	%	55
SiO ₂	"	20
MgO	"	8
Al ₂ O ₃	"	11
V ₂ O ₅	"	0,2
P ₂ O ₅	"	0,05
S _{kok}	"	0,3
FeO	"	2,1
MnO	"	2,1
TiO ₂	"	0,5
K ₂ O	"	0,3

Olennaisimmat erot LD-kuoniin verrattuna ovat suuremmat MgO- ja Al₂O₃-pitoisuudet sekä alhaisemmat FeO- ja P₂O₅-pitoisuudet. Sähköuuneissa kuona usein pelkistetään ennen kaatoa. Tällöin FeO ja P₂O₅ ovat erityisen alhaiset.

2.23 Teräskuonien käsittelytavat ja syntyvät määrät

Teräskuonien annetaan jähmettyä kuonapadoissa kiinteäksi, ennenkuin kuona kaadetaan kuonapenkalle. Koska kuona sisältää huomattavan määrän metallista Fe:tä, jolla on tehtaille suurta taloudellista merkitystä, niin käytännössä kaikki teräskuonat käsitellään magneettisesti, jonka jälkeen teräskuonan metallisen Fe:n osuus on alle 1 %. Tämän jälkeen teräskuonat murskataan ja seulotaan haluttuihin lajitteisiin riippuen tulevista käyttökohteista ja niiden asettamista vaatimuksista.

Mikäli tehtaat toimivat täydellä teholla syntyy teräskuonia seuraavasti:

Rautaruukki Oy, Raahen, LD-kuona	170 000 t/a-130 000=40 000
Ovako Oy-Ab, Koverhar, - " -	25 000 "
- " - , Imatra, sähköteräskuona	25 000 "

Rautaruukki Oy:n kuonaa palautetaan takaisin prosessiin siten, että todellinen vuosittain kertyvä kuonamäärä on noin 40 000 t.

2.3 Jatkojalosteet

2.31 Jauhettu masuunikuona

Suomessa valmistetaan tällä hetkellä vuosittain n. 10 000 t masuunikuona-portlandsementtiä alhaislämpösementiksi. Valmistus tapahtuu yhteisjauhamalla 50 % masuunikuonaa ja 50 % portlandsementtiklinkkeriä. Ko. sementtimäärä vastaa vain n. 0,5 % koko sementtituotannosta. Suomessa on aloitettu koetuotanto granuloidun masuunikuonan erillisjauhamiseksi ja näin saadun kuonajauheen käyttämiseksi portlandsementtiä korvaavana materiaalina.

3. KUONIEN KÄYTTÖALAT JA KYSYNTÄ

3.1 Yleistä

Terästeollisuudessa syntyvillä kuonilla on runsaasti erilaisia käyttöaloja riippuen kuonien koostumuksesta ja käsittelytavasta. Seuraavassa on luettelomaisesti esitetty yleismaailmallisesti tärkeimmät käyttöalat kuonalaaduttain.

Ilmajäähdytetty masuunikuona

- Tien ja kadunrakennuksessa pengertäyttömateriaalina, jakavan ja kantavan kerroksen rakennemateriaalina sekä kunnossapitomurskeena.
- Päällystetekniikassa asfalttibetonin ja betonipäällysten runkoaineena.
- Rautatierakennuksessa pengertäyttömateriaalina ja raide-sepelinä.
- Lentokenttien ja varastokenttien rakennemateriaalina.
- Betoni- ja elementtiteollisuudessa runkoaineena.
- Maa- ja metsätaloudessa hienoksi jauhetussa muodossa maanparannusaineena.
- Suodatinmateriaalina jäteveden puhdistamoissa.

Granuloitu masuunikuona

- Tienrakennuksessa ja erilaisissa maarakennuskohteissa kevennys- ja lämpöeristysmateriaalina sekä sideaineena sidotuissa rakenteissa (tarvittaessa hienoksi jauhettuna).
- Maarakennusaineena maa- ja metsätaloudessa
- Hiekkapuhallusaineena

Jauhettu granuloitu masuunikuona

- Seosaineena yleisportlandsementissä sekä seossementeissä (alhaislämpösementti ja sulfaatinkestävä sementti)
- Sideaineena kevytbetonissa, kaivostäytössä jne.

- Täytejauheena asfalttibetonissa.

Pelleteoitu masuunikuona

- Tienrakennuksessa ja erilaisissa maarakennuskohteissa kevennys- ja lämpöeristysmateriaalina.
- Betoni-, elementti- ja harkkoteollisuudessa runkoaineena.
- Seosaineena sementinvalmistuksessa.

Hohkakuona

- Tienrakennuksessa kevennys- ja lämpöeristysmateriaalina sekä jakavan ja kantavan kerroksen rakennemateriaalina.
- Betoni- ja elementtiteollisuuden runkoaineena.

Kuonavilla

- Lämpöeristysmateriaalina lasi- ja mineraalivillan tapaan.

Sulasta kuonasta valetut kuonatuotteet

- Katukivet, reunuskivet
- Kulutusta kestävät levyt
- Kuonatiilet

Teräskuonat

- Kiviaineksena tienrakennuksessa
- Asfalttibetonin runkoaineena
- Maanparannusaineena maa- ja metsätaloudessa
- Sementin valmistuksen raaka-aineena

3.2 Käytön jakauma eräissä maissa

Kuonien määristä ja käytön jakautumisesta ei ole saatavissa kovinkaan yhdenmukaisia tilastotietoja. Euroopan talouskomissio käynnisti kylläkin vuoden 1979 aikana kyselyn koskien

syntyviä kuonamääriä ja niiden käyttöä Euroopassa, mutta nämä tiedot eivät olleet vielä käytettävissä tätä selvitystä laadittaessa. Seuraavissa taulukoissa oleva tietous on poimittu hajatietoina kirjallisuudesta eri vuosilta.

Taulukossa 4 on esitetty masuunikuonan tuotanto laaduttain eräissä maissa ja taulukossa 5 käytön jakauma ja käytetyn kuonan prosentuaalinen osuus syntyvästä kuonamäärästä.

Valtaosa maailmassa syntyvästä masuunikuonasta on ilmajäähdytettyä ja käytetään pääosin tienrakentamisessa ja betonin runkoaineena. Vesijäähdytetyn kuonan osuus on ilmajäähdytettyä suurempi Neuvostoliitossa ja Ranskassa, joissa granuloi-tua kuonaa käytetään runsain määrin sementin valmistukseen. Myös Ruotsissa granulointiin vuonna 1973 yli puolet syntyneestä kuonamäärästä, mutta käytön osuus oli vaatimatonta luokkaa. Yleisesti ottaen vanhat, kehittyneet terästeollisuusmaat käyttävät lähes kaiken syntyvän masuunikuonan ja eräissä tapauksissa kuten esim. Länsi-Saksassa ollaan purkamassa myös vuosikymmenien varrella muodostuneita varastokasoja. Kehitys on suuntautumassa kohti korkeamman jalostusasteen tuotteita. Vesijäähdytetyn kuonan osuus tulee tällöin kasvamaan. Korkeimman jalostusasteen omaavien tuotteiden kuonavillan ja kuonakeraamisten tuotteiden osuus on vielä toistaiseksi häviävän pieni.

Taulukko 4. Masuunikuonan tuotanto laaduttain eräissä maissa (milj. t/a).

	Ilmajäähdytetty	Vesijäähdytetty				Vesijäähd. osuus %	Kokonaiskuonamäärä
		Granul.	Pellet.	Hohkak.	Yhteensä		
Neuvostoliitto (1977)	19,7	27,8	-	1,8	29,6	60,0	49,3
USA (1976)	25	2	-	2	4	13,8	29
Japani (1975)	25	1,9	-	-	1,9	7,1	26,9
Ranska (1976)	5	8	-	0,1	8,1	61,8	13,1
Länsi-Saksa (1976)	7,8	3,2	-	0,3	3,5	31,0	11,3
Englanti (1976)	7	0,1	-	0,2	0,3	4,1	7,3
Kanada (1976)	2,2	-	0,2	-	0,2	8,3	2,4
Ruotsi (1973)	0,325	0,425	-	-	0,425	56,7	0,750
Suomi (1979)	0,496	0,053	0,011	-	0,064	11,4	0,560

Taulukko 5. Masuunikuonan käytön jakauma ja käytetyn kuonan prosentuaalinen osuus syntyvästä kuonamäärästä eräissä maissa (milj. t/a).

	Ilmajäähdytetty kuona		Raide-sepeli	Kevyt-betoni	Sementin valmistus	Käytetty määrä	
	Tiet	Betoni				Yhteensä	Osuus, %
Neuvostoliitto (1977)	← 6,2 →	6,2	→	1,8	27,8	36,3	73,6
USA (1975)	← 21,0 →	21,0	4,4	0,45	0,23	26,1	95
Japani (1975)	12,4	2,44	0,25	-	1,52	24,5	91
Ranska (1975)	← 5,8 →	5,8	-	-	8,3	14,1	90
Länsi-Saksa (1976)	7,2	+	-	0,3	3,8	11,3	n. 100
Englanti (1976)	>6	← 0,45 →	→	← 0,16 →	+	7	n. 100
Kanada (1976)		← 2 →	→	+	+	2,4	n. 100
Ruotsi (1973)	-	-	0,015	← 0,132 →	→	0,147	n. 20
Suomi (1979)	0,233	-	-	0,011	0,019	0,295	52,7

+ jonkin verran käytetään, määriä ei tiedossa

Taulukossa 6 on esitetty teräskuonien tuotanto ja käytön jakautuminen eräissä terästeollisuusmaissa.

Taulukko 6. Teräskuonien tuotanto ja käytön jakautuminen eräissä terästeollisuusmaissa (milj. t/a).

	Tuo- tando	Käyttö						
		Palau- tus	Tien- ra- kennus	Täyt- tö- mater.	Maa- ta- lous	Muu käyt- tö	Yht.	Käytön osuus, %
Neuvostol. (1979)	22,7	0,9	3,5	-	0,6	-	n.5	22
Japani (1973)	12,4	1,47	1,15	8,88	0,145	0,46	12,105	97,6
USA (1973)	9,7	+	3,75	3,38	0,1	1,22	n.9	93
Länsi-Saksa	6,2	1,87	0,21	1,66	1,5	-	n.5	81
Englanti (1975)	3,9	2	+	-	+	-	n.2	51
Suomi (1979)	0,215	0,086	0,026	-	0,008	0,021	0,141	65,6

+ jonkin verran käytetään, määriä ei tiedossa

Teräskuonien käyttö on yleensä huomattavasti heikommalla tasolla kuin masuunikuonan. Teräskuonaa pyritään palauttamaan mahdollisuuksien mukaan takaisin prosessikiertoon masuunin raaka-aineeksi, mutta on selvää, että kuonan sisältämät teräksen valmistukselle haitalliset aineet esim. fosfori asettavat tietyt rajoitukset palautettavalle määrälle. Jonkin verran niitä käytetään tienrakennusmateriaalina ja maanparannusaineina, mutta huomattavin osa siitä, jota ei palauteta prosessiin käytetään hyvin alkeellisesti täyttömateriaalina tai jää varastokasoihin tehdasalueille.

3.3 Käytön jakauma Suomessa

Terästeollisuuden kuonien tuotanto ja käytön jakautuminen Suomessa (Rautaruukki Oy ja Ovako Oy-Ab) v. 1979 käy ilmi taulukosta 7. Tämän mukaisesti hyödynnettiin maassamme v. 1979 syntyvästä masuunikuonasta n. 53 % ja teräskuonasta n. 66 %, joten kehittämisen varaa löytyy vielä runsain mitoin. Edelleen on huomattava, että masuunikuonasta vesijäähdytetyn kuonan

Taulukko 7. Terästeollisuuden kuonien tuotanto ja käytön jakautuminen Suomessa vuonna 1979 (1000 t/a).

Käyttöala	Masuunikuona			Teräskuonat		
	Ilma-jäähd.	Vesi-jäähd.	Yht.	LD-kuona	Sähkö-teräsk.	Yht.
Palautus	-	-	-	86	-	86
Tienrakennus	233	-	233	-	26	26
Betoni	-	11	11	-	-	-
Sementti	-	19	19	21	-	21
Maanparannus	-	17	17	4	4	8
Muu käyttö	11	4	15	-	-	-
Käyttö yhteensä	244	51	295	111	30	141
Käyttämätön	252	13	265	80	-	74
Kok. tuotanto	496	64	560	191	24	215
Käytön osuus %	49,2	79,7	52,7	58,1	125,0	65,6

osuus oli vain n. 11,5 %. Pääosa käytetystä masuunikuonasta n. 79 % on mennyt tien- ja kadunrakennukseen kappalekuonana ja erilaisina kuonamurskeina. Pidemmälle jalostetun masuunikuonan käyttö on ollut vielä toistaiseksi vaatimatonta luokkaa. Ovakon masuunikuonapellettejä käytettiin v. 1979 betonin runkoaineena n. 11 000 t. Sementtikäyttö (sementin valmistuksen seosaine, Siporex ja erillisjauhettu masuunikuonasementti kaivostäyttöön) oli n. 19 000 t. Rautaruukin granuloitua masuunikuonaa käytettiin maanparannusaineena n. 17 000 t ja muu käyttö (mineraalivillateollisuus, lämpöeristys jne.) oli n. 15 000 t.

Teräskuonista LD-kuonan pääasiallinen käyttö on ollut palauttaminen takaisin prosessikiertoon masuunin raaka-aineeksi. Lohja Oy on käyttänyt Ovakon LD-kuonaa sementin raaka-aineeksi n. 21 000 t ja Rautaruukin LD-kuonaa myytiin v. 1979 maanparannusaineeksi n. 4 000 t. Tienrakennukseen ei LD-kuonaa ole käytetty lainkaan maassamme. Ovakon Imatran tehtaan sähköteräskuonaa sen sijaan on käytetty pääasiallisesti tien- ja kadun-

rakennukseen ja vähäisessä määrin myös maanparannusaineena. Vuoden 1979 sähköteräskuonan käyttö oli jopa syntyvää määrää suurempi.

3.4 Käyttöaloittainen tarkastelu

Seuraavassa tarkastellaan kuonatuotteiden ominaisuuksia käyttöaloittain saatujen kokemusten ja kirjallisuuden valossa. Samalla esitetään tämän hetken tilanne maassamme käytön ja kehitystyön suhteen.

3.41 Betoni- ja elementtiteollisuus

3.411 Runkoainekäyttö

Monissa vanhoissa terästeollisuusmaissa etenkin Yhdysvalloissa ja Neuvostoliitossa on käytetty runsain määrin niin ilmajäähdytettyä masuunikuonaa kuin hohkakuonaakin betonin runkoaineena. Masuunikuonabetonia on käytetty rakennuksissa, maantie- ja rautatiesilloissa hyvällä menestyksellä. Myös esijännitettyjä betonituotteita on tehty runsaasti masuunikuonabetonista.

Masuunikuonabetonin ominaisuuksista voidaan ulkomaisen kirjallisuuden perusteella todeta seuraavaa:

- Lujuusarvot (puristus- ja taivutusvetolujuus) ovat jopa parempia kuin luonnonkiviaineksella.
- Paino n. 20 % kevyempi kuin luonnonkiviainesbetonilla.
- Korroosiokestävyys hyvä (mm. esijännitetyt betonituotteet).
- Tilavuudenpysyvyys hyvä.
- Erinomainen tulenkestävyys.

Hohkakuonaa käytettäessä saadaan kevytbetonituotteita, joilla hyviin lujuusarvoihin ja keveyteen yhdistyvät myös hyvät lämmön- ja ääneneristysominaisuudet.

Suomessa ei ole juuri käytetty masuunikuonamursketta betonin runkoaineena ja myöskään normistoja ei ole luotu tätä silmällä pitäen. Viime aikoina on herännyt kuitenkin kiinnostus kuonapellettien käyttöön betonin runkoaineena. Ovakon kuonapellettejä myytiinkin vuonna 1979 jo 11 000 t rakennuselementtien runkoaineeksi. Pellettien käyttöä harkkojen runkomateriaalina ollaan myös kehittämässä. Pellettibetonilla on saavutettavissa vastaavia ominaisuuksia kuin edellä on esitetty. Kun tätä nykyä pelletointilaitos on sekä Ovakolla että Rautaruukilla, on tulevana vuosina odotettavissa pellettien käytön runsas lisääntyminen betonin runkoaineena.

3.412 Sideainekäyttö

Nopeasti jäähdytetty ja hienoksi jauhettu masuunikuona omaa piileviä sitovia ominaisuuksia, jotka voidaan herättää jonkin aktivaattorin (portland-sementin, Ca(OH)_2 :n, kipsin, CaCl_2 :n avulla. Tavallisimmin aktivointiin käytetään portland-sementtiä. Maailmassa on hyvin runsaasti erilaisia masuunikuonaportlandsementtejä, joissa masuunikuonan määrä vaihtelee laajoissa rajoissa 15 - 95 % asti.

Normaalisti masuunikuonaportlandsementit valmistetaan jauhamalla yhdessä portlandsementtiklinkkeriä ja granuloitua masuunikuonaa. Masuunikuonan erillisjauhatusta on käytössä ainakin Englannissa, Kanadassa ja Etelä-Afrikassa. Erillisjauhamalla saadaan masuunikuona juuri tarkalleen haluttuun hienouteen ja tämän seurauksena on tuotteen laatua voitu parantaa. Suomessa on selvitetty viime vuosina hyvin laajasti erillisjauhetun masuunikuonan valmistusta, sementtiominaisuuksia ja aktivointia. Saatujen tulosten ja kokemustan pohjalta on odotettavissa erillisjauhetun masuunikuonan tulo markkinoille lähivuosina. Flowcon Oy on kehittänyt ns. F-sementin, joka koostuu masuunikuonajauheesta ja lisäaineesta.

3.42 Rautatierakennus

Ilmajäähdytettyä masuunikuonaa voidaan käyttää rautatierakennuksessa pengertäyttemateriaalina ja raidesepeleinä. Ainakin Neuvostoliitossa, Yhdysvalloissa, Japanissa, Englannissa ja

Kanadassa käytetään masuunikuonaa yleisesti raideseppelinä. Meillä Suomessa masuunikuonaa on käytetty rautatierakennuksessa lähinnä vain terästehtaiden sisäisen liikenteen radoilla.

3.43 Maarakennuskohteet, kentät yms.

Masuunikuona kappalekuonana tai murskattuna soveltuu erilaisien kenttien rakennekerrokseen.

Hienoksi jauhettua granuloitua masuunikuonaa voidaan käyttää sidottujen kerrosten sideaineena. Rakenne vastaa tällöin lähinnä maabetonia ja voidaan valmistaa meroliitti/kovaliittityyppisenä, jossa sekä sideaine että runkoaine ovat masuunikuonaa. Terästeollisuudella itsellään on runsaasti kuonasta tehtyjä varastokenttiä, ja viime aikoina on kiinnostus voimakkaasti lisääntynyt masuunikuonan käyttöön varastokenttämateriaalina myös terästeollisuuden ulkopuolella. Etenkin rautateiden varsille rakennettavia varastokenttiä olisi mielekästä rakentaa kuonasta, koska materiaalikuljetusten järjestäminen on helppoa ja suhteellisen edullistakin varsin etäällä terästehtaasta meno-paluukuljetuksia käyttäen.

3.44 Maanparannus

Sekä masuunikuonaa että teräskuonia voidaan käyttää maanparannusaineina. Sisältämänsä kalsiumin ja magnesiumin ansiosta niillä on maatalouskalkkien luokkaa oleva kalkitusvaikutus. Maassamme on käynnistetty kuonilla laajat viljelykokeet, joissa on saavutettu hyviä tuloksia. Vuonna 1979 myytiin kuonia maanparannusaineiksi n. 25 000 t ja lähivuosina on odotettavissa kysynnän huomattava lisääntyminen.

3.45 Mineraalivillateollisuus

Maamme mineraalivillateollisuus käyttää vuosittain 10 000 - 20 000 t ilmajäähdytettyä masuunikuonaa raaka-aineekseen. Neuvostoliitossa on olemassa kuonavillan valmistusmenetelmä, joka käyttää raaka-aineenaan suoraan masuunilta saatavaa

sulaa kuonaa, jolloin valmistuksen energiakustannukset tuntuvasti pienentyvät. Eristysaineiden käyttö maassamme nykyisen energiatilanteen vallitessa tulee lähitulevaisuudessa edelleenkin lisääntymään. Odotettavissa on, että myös kuonavillalle löytyy lisää markkinoita Suomessa.

3.46 Kuonakeramiikka

Monissa terästeollisuusmaissa valetaan suoraan sulasta kuonasta joko sellaisenaan tai eräillä lisäaineilla modifioituna erilaisia kuonakeraamisia tuotteita kuten katukiviä, reunuskiviä, putkikouruja, tiiliä, kulutusta kestäviä levyjä jne. Meillä Suomessa on tehty vasta lähinnä laboratoriomittakaavaista perusselvitystyötä. Monien kuonakeraamisten tuotteiden markkinat olisivat kuitenkin Suomessa niin pienet, ettei valmistusprosessia kannattaisi meidän oloissa rakentaa. Kuitenkin pitkällä tähtäimellä on kuonakeramiikka nähtävä myös meillä yhtenä kuonan käytön kehityssuuntana.

3.47 Hiekkapuhallusaine

Granuloidusta masuunikuonasta voidaan seuloa alustavien selvitysten mukaan käyttökelpoisia hiekkapuhallusaineita. Etuna masuunikuonalle on tuntuvasti pienempi silikoosivaara kvartsihiekkiaan nähden. Masuunikuonapohjaisia hiekkapuhallusaineita on jo käytössä Norjassa ja Ruotsissa. Odotettavissa on samanlainen kehityssuuntaus myös meillä.

3.48 Tien- ja kadunrakennus

Masuunikuonan pääkäyttöalue maassamme on ollut tien- ja kadunrakennus. Masuunikuonamurskeilla on kuitenkin luonnonkivaineeseen nähden poikkeavia ominaisuuksia, jotka on tarpeellista tuntea ja hallita tienrakennuksen kannalta.

- Lujuusominaisuuksiltaan (Los Angeles-luku, haurausarvot) masuunikuona vastaa II - III luokan luonnonkiviainesta ja raemuodoltaan I luokan kiviainesta (asfalttinormien luokitus).

- Masuunikuona on huokoista ja siten tilavuuspainoltaan luonnonkiviainekseen nähden kevyempää.
- Masuunikuona pyrkii murskautumaan siten, että hienojen raeluokkien osuus on luonnonkiviainekseen nähden vähäisempi.

Edullisen raemuodon ja korkean sisäisen kitkakertoimen ansiosta tulee masuunikuonarakenteista erittäin kantavia. Suoraan kuonapenkasta irrotettu ja välpätty masuunikuona on erinomainen pengertäyttömateriaali, mutta soveltuu jo sellaisenaankin kuonamurskeiden tapaan teiden ja katujen rakennekerrokseen (jakava ja kantava kerros). Masuunikuona soveltuu myös kunnossapitomurskeeksi, joskin pölynsitomisessa tarvittava tiesuolamäärä on saatujen kokemusten mukaan normaalia suurempi.

Teräskuonat ovat masuunikuonaan nähden lujempia ja painavam-
pia vastaten I - II luokan materiaalia. Teräskuonien käyttöön liittyy kuitenkin ongelmallisuutena eräät faasimuutokset (esim. vapaan kalkin erkautuminen), jotka paisuttavat materiaalia rikkoen sitä. Tästä syystä teräskuonia tulee säilyttää ennen käyttöä riittävä aika varastossa, jotta faasimuutokset ennättäisivät tapahtua. LD-kuonille riittävänä varastoaikana pidetään puolta vuotta. Meiltä puuttuvat kuitenkin LD-kuonien osalta käyttökokemukset tienrakennuspuolella ja kokeita tulisi käynnistää tällä sektorilla. Sähköteräskuonan suhteen tienrakennuskäyttö on sen sijaan jo vakiintunut.

Kuten jo aiemmin todettiin on masuunikuona huokoista ja luonnonkiviainekseen nähden kevyempää. Kappalekuonan tilavuuspaino on 1 - 1,3 t/m³, granulin n. 1,25 t/m³ ja pellettien (5 - 15 mm) n. 1,15 t/m³. Näin ollen masuunikuonatuotteita voidaan ajatella käytettäväksi tienrakennuksessa myös kevennysmateriaalina. Kun granulin lämmönjohtoluku on n. 0,3 W/m⁰C ja pellettien n. 0,2 W/m⁰C, on näillä tuotteilla merkitystä myös lämpöeristävänä materiaalina.

Eri puolilla maailmaa on jo pitemmän aikaa hyödynnetty nopeasti jäähdytetyn masuunikuonan sitovia ominaisuuksia tienrakennuksessa sidotuissa rakenteissa. Kantavan kerroksen yläosa

voidaan stabiloida paikalla olevasta luonnonkiviaineksesta aktivoitulla granulilla sellaisenaan tai hienoksi jauhettuna. Toisena mahdollisuutena on käyttää massaa, joka koostuu kuonamurskeesta, granulista ja granulijauheesta. Tällainen massa kovettuu hitaasti, mutta etuna on mahdollisuus kuljettaa massaa etäällekin valmistuspaikalta laadun kärsimättä. Ulkomailla saadut kokemukset ovat olleet hyvät kuonan käytöstä sidotuissa rakenteissa ja myös meillä Suomessa tehdyt kokeilut ovat olleet lupauksia herättäviä. Ongelman muodostaa humuspitoisten moreenien stabilointi, joka vaatisi runsaasti lisätutkimusta jatkossa. Masuunikuonan käyttö sidotuissa rakenteissa lisäisi tuntuvasti kuonien taloudellista käytösädetä terästehtaan ympäristössä, koska tällöin kuljetuskustannukset eivät tule rajoittavana tekijänä niin nopeasti vastaan kuin pelkästään kappalekuonan ja kuonamurskeiden käytössä. Jatkossa tulisikin meillä Suomessa kiinnittää tähän puoleen entistä voimakkaammin huomiota ratkaistessa kuonan käytön ongelmaa tienrakentamisessa.

3.49 Päällystetekniikka

3.491 Asfalttipäällysteen runkoaine- ja täytejauhekäyttö

Sekä masuuni- että teräskuonaa on käytetty maailmalla runsaasti asfalttibetonin runkoaineena. Kuonamurskeiden etuina on pidetty hyvää tarttuvuutta bitumiin ja hyviä kitkaominaisuuksia. Pohjoismaissa on etenkin masuunikuonan käytön osalta oltu pidättyväisiä, koska nastarengaskulutuksen on ajateltu olevan kohtuuttoman suurta huokoisen rakenteen johdosta. Sen sijaan teräskuonalla on nähty olevan suurempia mahdollisuuksia asfalttibetonin runkoaineena.

Ulkomailla, mm. Saksassa saatujen kokemusten perusteella ei ole mitään teknillistä estettä käyttää hienoksi jauhettua masuunikuonaa täytejauheena asfalttibetonissa.

Suomessa päällystealalla kuonilla tehtyjä kokeita käsitellään kohdassa 4.

3.492 Betonipäällysteen runkoaine- ja sideainekäyttö

Betonipäällysteiden kehittämisessä ja taloudellisten käyttö-

edellytysten parantamisessa tarjoaa masuunikuona mielenkiintoisen materiaalivaihtoehtoon. Kuonasegmenttibetonilla on todettu olevan edullinen taivutusvetolujuus/puristuslujuussuhde sekä hyvä kemiallinen ja säänkestävyys. Nämä kaikki ovat tekijöitä, jotka ovat edullisia betonipäällysten kannalta.

Ruotsissa markkinoidaan kauppanimikkeellä meroliitti erilaisiin päällystystarkoituksiin massaa, jossa sekä runko- että sideaineena käytetään masuunikuonaa. Vastaavaa massaa on kokeiltu myös Ovakossa (kovaliitti) ja Rautaruukilla. Ainakin kevyen liikenteen väylien päällystyksessä materiaali saattaisi olla kehityskelpoinen. Meroliittia on käytetty erikoistarkoituksissa mm. varastohallien ja maatalousrakennusten lattioissa, joissa tarvitaan kuumuuden ja/tai kemiallista kestävyyttä.

3.5 Kuonien tulevasta käytöstä Suomessa

Viime vuosien aikana on maamme terästeollisuuden toimesta selvitelty hyvin laajasti ja monipuolisesti kuonien erilaisia käyttömahdollisuuksia.

Maamme terästeollisuus ja sementtiteollisuus perustivat kesällä 1980 Suomen Kuonajaloste Oy:n, jonka tehtävänä on huolehtia kaiken terästeollisuuden tuottaman masuunikuonan edelleen jalostamisesta ja markkinoinnin järjestämisestä.

Odotettavissa on, että tämän vuosikymmenen puoliväliin mennessä terästeollisuuden kuonaongelma on pystytty käytännönsäkin ratkaisemaan.

Masuunikuonan osalta tullaan siirtymään entistä enemmän vesijäähdytettyihin kuonalaatuihin granuliin ja pelletteihin. Tavoitteena tulisi pitää 70 - 80 % :n vesijäähdytettyjen tuotteiden osuutta. Tämä edellyttää uuden granulointi- ja pelletointikapasiteetin rakentamista. Masuunikuona ohjautuisi näin ollen voimakkaasti sementtiin ja betonin runkoaineskäyttöön. Joka tapauksessa ilmajäähdytettyä kuonaa tulee jatkossakin syntymään 100 000 - 200 000 t/a ja sen pääasiallinen käyttö voisi edelleenkin olla tien- ja kadunrakennus, varastokentät yms.

Teräskuonat pyrittäneen jatkossakin markkinoimaan maanparannusaineeksi, tienteekomateriaaliksi ja sementtiteollisuuden raaka-aineeksi.

4. TEKNINEN KÄYTTÖKELPOISUUS PÄÄLLYTEISIIN

4.1 Asfalttipäällysteet

4.11 Käyttökelpoisuus runkoaineeksi

Käytettäessä kuonaa asfalttipäällysteiden runkoaineena, se murskataan haluttuun raekokoon. Yleisimmin on käytetty lajitteita 0...20 mm tai 0...8 mm ja 8...20 mm. Tehtyjen laatutukimusten /21/ mukaan ovat kuonien ominaisuudet olleet taulukon 8 mukaiset.

Taulukko 8 . Kuonanmurskeiden keskimääräiset laatuominaisuudet.

Laatuominaisuus	Ovako			Rautaruukki	
	Masuuni-kuona	LD-teräs-kuona	Sähkö-teräs-kuona	Masuuni-kuona	LD-teräs-kuona
Los Angeles luku	27-35	29-32	28	27-38	16
Muotoarvo (c/a ja b/a)	2,1/1,5	1,8-2,0/ 1,3-1,4	2,3/1,5	2,0-2,1/ 1,4-1,6	2,0/1,4
Haurausarvo	53-58	50-66	56	56	41
Parann. haur.arvo	29	30	27	30	13
Hioutuvuus-luku	4,3	1,7	1,3	4,5	1,0
Kiintotiheys (g/cm ³)	2,84	3,24	3,22	2,78	3,56
pH-arvo	9,1	12,1	12,1	10,4	12,2
Absorptioarvo (lajite 8-12 mm)	4,7	2,9	2,5	4,5	1,6

Asfalttinormien luokituksen mukaan molemmat masuunikuonat kuuluvat luokkaan III. Teräskuonat taas kuuluvat luokkiin I tai II. Masuunikuonien kiintotiheys on luonnon kiviaineksen luokkaa. Teräskuonat ovat sen sijaan melkoisesti raskaampia. Kaikki kuonat ovat emäksisiä, mitä pidetään asfalttipäällysteen runkoaineelle edullisena. Absorptioarvo mittaa kiviaineksen tai kuonan keskimääräisen vedenimukyvyn paino-%:ssa, kuvaten siten

niiden huokoisuutta. Normaali luonnon kiviaineksen absorptioarvo on noin 0,2...0,5. Kuonat ovat siten erittäin selvästi luonnon kiviaineksia huokoisempia.

Kuonapääallysteitä suhteitettaessa ovat optimisideainepitoisuudet yleensä olleet jonkin verran vertailuarvoja korkeammat. Vertailupääallyste on tällöin tehty vastaavan rakeisuus-käyrän omaavasta luonnon kiviaineksesta. Samoin tyhjätilat kuonapääallysteillä ovat nousseet melko suuriksi.

Kuonapääallysteiden tiheydet poikkeavat tavanomaisen asfalttipääallysteen tiheydestä siten, että masuunikuonapääallysteiden tiheys on ollut pienempi ja teräskuonapääallysteiden suurempi kuon vertailupääallysteen tiheys. Tästä on seurauksena, että pyrittäessä tiettyyn laatan paksuuteen, on masuunikuonapääallysteiden massamäärä kg/m^2 pienempi ja teräskuonapääallysteiden suurempi kuin tavanomaisen pääallysteen massamäärä. Taulukossa 9 on esitetty suhteituksissa saatuja tuloksia. /13,21/

Taulukko 9. Kuonapääallysteiden suhteitustuloksia.

Pääallyste	Bitumipitoisuus p-%	Pääallysteen tiheys kg/dm^3	Tyhjätila t-%	Marshall lujuus (M) kN	Kokoonpurist.(k) mm	M/k
<u>Ovako</u>						
AB 20/IV masuunikuona	5,8	2,2	13,2	8,2	4,4	1,9
AB 20/IV sähköteräskuona	6,3	2,5	10,3	9,9	4,5	2,2
<u>Rautaruukki</u>						
AB 20/IV masuunikuona	6,0	2,2	14,2	7,1	5,3	1,3
AB 20/IV LD-teräskuona	5,8	2,9	5,3	6,8	3,8	1,8
AB 20/IV vertailupääll.	5,8					
<u>Ovako</u>						
AB 20/III LD-teräskuona	6,3	2,6	5,1	9,3	3,7	2,5
AB 20/III vertailupääll.	5,8	2,4	1,7	6,2	5,1	1,2

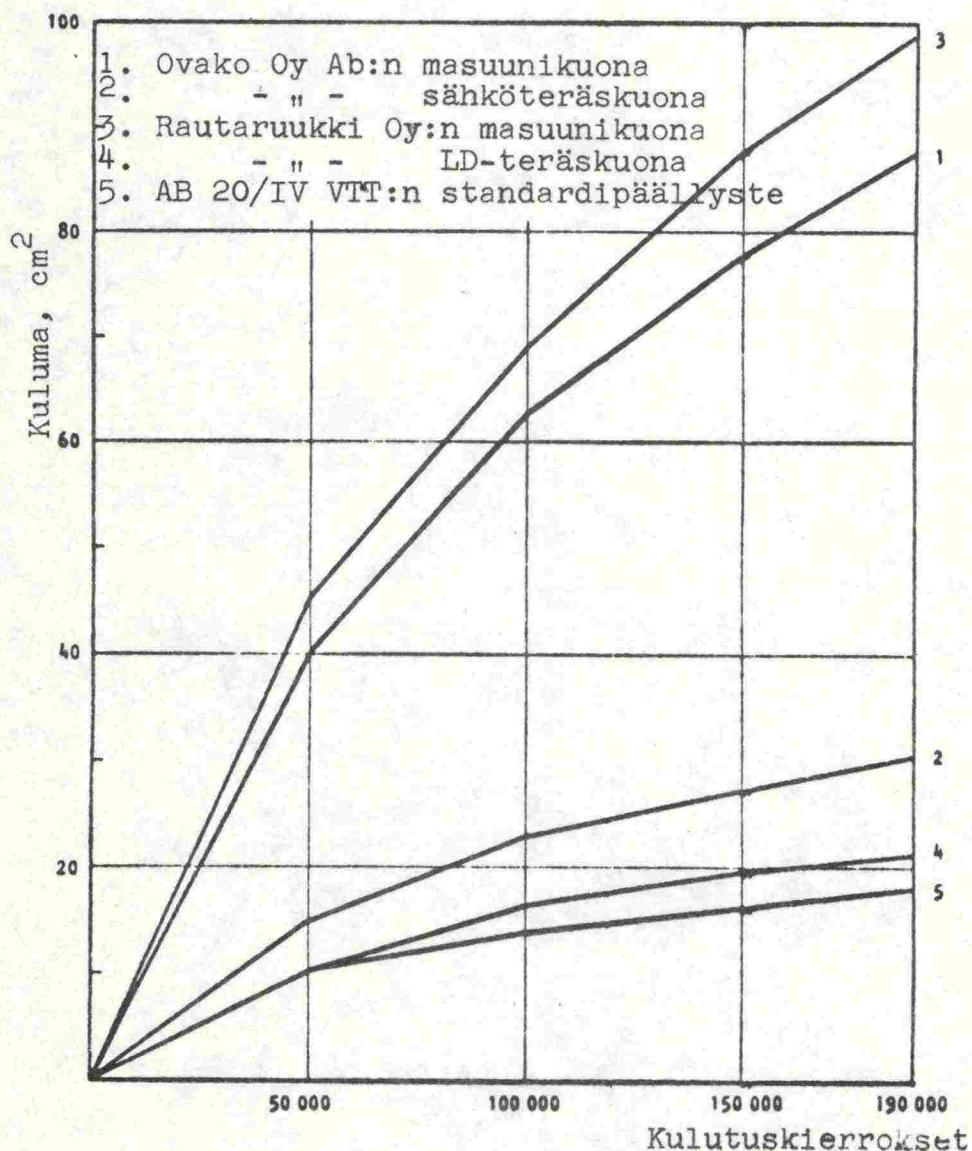
Eräs ulkomaisessa kirjallisuudessa asfalttimassojen stabilisuudelle asetettu vaatimus on Nijboerin sopivuuskriteeri, jonka

mukaan Marshall-lujuuden ja kokoonpuristuman suhteen pitää olla suurempi kuin 1,25. Tätä kriteeriä soveltaen kaikilla kuonamassoilla on hyvä stabiliteetti.

Kuonapääallysteiden vedenkestävyyttä on tutkittu laboratoriossa Immersion-Compression-menetelmällä ja kulutuskestävyyttä koeradalla. Kokeiden mukaan teräskuonapääallysteiden veden- ja kulutuskestävyys oli jonkin verran vertailupääallystettä huonompi.

Kaikkein huonoimmat tulokset saatiin masuunikuonapääallysteille.

Kuvassa 1 esitetyt kulumatulokset on saatu koeradalla, jossa kuonapääallysteitä on kulutettu nastarenkailla.



Kuva 1. Koepääallysteiden kuluminen koeradalla /21/.

Verrattaessa kuonapäällysteiden ja vertailupäällysteiden (VTT:n standardipäällyste) kulumia keskenään saadaan seuraavat suhteelliset kulumat:

1. Vertailupäällyste	1,0
2. Rautaruukin LD-teräskuona	1,2
3. Ovakon sähköteräskuona	1,7
4. Ovakon masuunikuona	4,9
5. Rautaruukin masuunikuona	5,5

Erillisessä kulutusajossa saatiin Ovakon LD-teräskuonan suhteelliseksi kulumaksi 1,3. Vertailupäällysteinä käytetty asfalttibetoni poikkesi hieman VTT:n standardipäällysteestä /13/.

Masuunikuonapäällysteiden kuluessa koerata-ajossa 4...5 kertaa vertailupäällystettä enemmän, on selvää etteivät ne kestä nastarengasliikennettä vilkasliikenteisillä ajoradoilla.

Niillä voisi olla käyttömahdollisuuksia kevytpäällysteissä (esim. kevytasfalttibetoni ja öljysora) tai asfalttipäällysteessä erityisliikennealueella, missä nastarengaskulutus ei ole määräävänä.

Vaikka teräskuonapäällysteet ovat koerata-ajoissa kuluneet selvästikin vertailupäällysteitä enemmän, ne saattaisivat menestyä vilkasliikenteisillä teillä ja kaduilla. Kuonapäällysteiden sään- ja kulutuskestävyyden selvittämiseksi todellisissa liikenneolosuhteissa on tehty seuraavia kenttäkokeita:

Kt:llä 52 Tenholassa on v. 1977 käytetty Ovako Oy-Ab:n Koverharin rauta- ja terästehtaan LD-teräskuonaa asfalttipäällysteiden runkoaineena. Liikennemäärä on pieni, noin 1 500 ajon/vrk, eikä kulumisessa kuona- ja vertailupäällysteiden kesken ole ollut eroa. Kitka uudella kuonapäällysteellä oli 0,81, vertailupäällysteiden kitka-arvon ollessa 0,51.

Mt:llä 8104 ja pt:llä 18584 Raahessa on käytetty v. 1978 Rautaruukki Oy:n Raahan tehtaan masuunikuonaa asfalttipäällysteiden ja kevytasfalttipäällysteiden runkoaineena. Liikennemäärät

olivat v. 1975 laskennan mukaan maantiellä 4 539 ajon/vrk ja paikallistiellä 2 925 ajon/vrk. Suurimpana vaikeutena olivat kuonamassoissa esiintyneet lajittumat. Levitettäessä jouduttiin levittäjän perää nostamaan ja kuonamassat olivat irtotaisen näköisiä. Kahden vuoden kuluttua olivat kuonapääällysteet kuluneet noin kaksi kertaa vertailupääällysteitä enemmän. /6/10/

Vt:llä 3 Nurmijärvellä käytettiin v. 1979 Ovako Oy-Ab:n Koverharin rauta- ja terästehtaan LD-teräskuonaa asfalttipääällysteen runkoaineena. Liikennemäärä v. 1978 oli 7 300 ajon/vrk. Levitetty kuonamassa vaikutti hieman avonaiselta. Jyrättäessä se oli vertailumassaa kiinteämpää. Kahden vuoden kuluttua ei kuona- ja vertailupääällysteiden kulumisessa ole eroa. Kuonapääällyste on avoimen näköinen. Uuden kuonapääällysteen kitka-arvo oli 0,74 ja vertailupääällysteen 0,62. Yhden vuoden ikäisen kuonapääällysteen kitka oli pudonnut arvoon 0,44, vertailupääällysteen kitkan ollessa 0,54. Kaksi vuotta vanhan teräskuonapääällysteen kitka oli 0,38 ja vertailupääällysteen kitka 0,51. Teräskuonapääällysteen tasaisuus oli vertailupääällysteen luokkaa. /13/

Vt:llä 6 Imatralla käytettiin v. 1980 Ovako Oy-Ab:n Imatran terästehtaan sähköteräskuonaa asfalttipääällysteen runkoaineena. Tien liikennemäärä v. 1974 oli noin 8 700 ajon/vrk. Työn kuluessa esiintyi vaikeuksia kuonan murskaamisessa oikeaan rakeisuuteen. Levitettäessä kuonamassa vaati suuremman peräkulman asetuksen. Jyrättäessä se vaikutti kiinteältä ja tiivistyi nopeasti. Vuoden 1981 aikana teräskuonapääällysteessä ilmeni purkautumia ja sitä jouduttiin paikkaamaan. Sen kunto on selvästi vertailupääällysteen kuntoa huonompi. /20/

Mt:llä 806 Rantsilassa käytettiin v. 1980 Rautaruukki Oy:n LD-teräskuonaa öljysoran runkoaineena. Kuonamassasta sekoitusasemalla tehdyt tartuntakokeet antoivat huonot tulokset. Tiellä oli kuonamassan pinta tasainen ja kiinteä. Jyrättäessä kuonamassa tiivistyi nopeasti eikä sideaineen pintaannousua tapahtunut. Vuoden ikäisenä, kesällä 1981 oli kuonapääällyste hyvässä kunnossa. /20/

Kt:llä 88 Raahessa käytettiin v. 1981 Rautaruukki Oy:n LD-teräskuonaa asfalttipäällysteen runkoaineena ja masuuni-kuonajauhetta asfalttipäällysteen täytejauheena. Kuonapäällysteiden tekeminen ei poikennut normaalista. Kuonamassojen pinta oli avoimen näköinen.

Pt:llä 11061 Pohjassa käytettiin v. 1981 Ovako Oy-Ab:n masuuni-kuonaa öljysoran runkoaineena. Masuunikuonamursketta työmaalle ajettaessa ilmeni lajittumia. Myös valmiiseen päällysteeseen jäi selvästi lajittuneita kohtia. Kuonamassa oli kuivan näköistä ja siinä oli vaaleita rakeita. Työssä oli vaikeutena myös se, että suhteitus oli tehty kylmälle öljysoralle, mutta urakoitsijan koneistolla kuonamassa jouduttiin tekemään kuumana. Kuonapäällysteessä ilmeni syksyllä 1981 purkautumia ja sitä jouduttiin paikkaamaan.

Kuonatuotteita on edellä mainittujen kokeiden lisäksi käytetty pieniä määriä lähinnä terästehtaiden alueella varastokentillä ja teillä. Näistä ei ole tehty järjestelmällisiä seurantatutkimuksia.

Ovako Oy-Ab

Aminneforsin tehtaalla on v. 1978 tehty n. 7 000 m² ja v. 1979 n. 6 500 m² asfalttipäällystettä, jonka runkoaineena käytettiin LD-teräskuonaa.

Lisäksi tehtiin v. 1977 yleiselle tielle (mt 1121) Mustioon öljysoraa, jonka runkoaineena oli masuunikuonamurske. Vuonna 1981 kuonapäällyste oli hyvässä kunnossa.

Rautaruukki Oy

Raahen tehtaalla on tehty v. 1978 ja 1979 noin 13 000 m² asfalttipäällystettä käyttäen runkoaineena masuunikuonamursketta. LD-teräskuonaa runkoaineena käyttäen tehtiin v. 1979 asfalttipäällystettä n. 4 000 m². Silmämääräisesti arvioituna ovat kuonapäällysteet kestäneet hyvin.

Oulun konttitehtaalle tehtiin v. 1980 kuonabetonipäällystettä, jossa sekä sideaine että runkoaine olivat masuunikuonaa.

Raahen kaupungin yleiselle kadulle (Felmaninpuistokatu) on tehty v. 1977 asfalttipäällystettä, jonka runkoaineena oli masuunikuonamurske. Silmämäärin arvioituna se on kestänyt hyvin. Lisäksi Raahen kaupunki on käyttänyt masuunikuonajauhetta asfalttipäällysteen täytejauheena.

4.12 Käyttökelpoisuus täytejauheeksi

Sekä Ovako Oy-Ab:n että Rautaruukki Oy:n masuunikuonajauheet täyttävät rakeisuudeltaan ja benseeniluvun osalta asfalttinormien vaatimukset. Ne ovat molemmat emäksisiä, mitä pidetään asfalttipäällysteiden täytejauheelle edullisena. Jauheiden kiintotiheydet ovat n. $3,0 \text{ g/cm}^3$.

Laboratoriossa tehtyjen veden- ja kulutuskestävyyskokeiden mukaan kuonajauheiden kestävyys oli vertailujauheena olleen kalkkikivijauheen luokkaa. Samoin bitumi-kuonajauheseoksilla tehtyjen veto- ja puristuskokeiden mukaan niiden viskoelastiset ominaisuudet ovat kalkkikivijauheen luokkaa. /21/

4.13 Erityisominaisuudet

Vaikka kuonapäällysteiden tyhjätilat nousevat normaalia suuremmiksi, ne eivät käytetyillä suhteituksilla pysty toimimaan varsinaisina vettäläpäisevinä päällysteinä. Vedenläpäisykyky riippuu päällysteiden tyhjätilasta, jonka yleensä pitää olla luokkaa 15...25 %. Suhteittamalla kuonapäällysteet hieman eritavalla voitaisiin niille tarvittaessa saada vedenläpäisykyky.

Muotoarvo kaikilla palakuonilla on ollut hyvä. Lisäksi ne koostuvat täydellisesti murskaantuneista rakeista, joiden pintarakenne on erittäin rosainen. Nämä ominaisuudet yhdessä korkean pH-arvon kanssa antavat edellytykset hyvälle tartunnalle kuonarakeiden ja sideaineen välille. Tosin öljysorakoiteiden yhteydessä tehdyissä tartuntakokeissa on saatu myös huonoja tuloksia. Hyvän muotoarvon ja rakeiden pintarakenteen johdosta

kuonamassoilla on myös suuri sisäinen kitka, jolloin kuonapäällysteiden stabiliteetti ja deformaation kestävyys ovat hyvät.

Kuonapäällysteiden kitka-arvot ovat yleensä olleet hyvät. Vt:llä 3 tehdyssä kenttäkokeessa kitka-arvo laski kuitenkin vuoden kuluttua vertailupäällysteen arvoa pienemmäksi. Tältä osin kaivataankin lisäselvityksiä.

Kuonapäällysteiden valonheijastusominaisuudet ovat olleet huonot, koska kuonien perusväri on yleensä tumma.

4.2 Betonipäällyste

4.21 Käyttökelpoisuus runkoaineeksi

Betonipäällysteen ominaisuudet riippuvat suuresti runkoaineen laadusta. Sen tulee omata hyvät mekaaniset ominaisuudet, joita ovat sitkeys, lujuus ja kulutuskestävyys. Lisäksi raemuodoltaan sen tulee olla mahdollisimman kuutiomaista ja mahdollisimman vähän liuskeista.

Runkoaines ei myöskään saa sisältää epäpuhtauksia, kuten humusta tai lietettä, eikä liikaa sellaisia aineita tai yhdisteitä, jotka reagoidessaan vahingoittaisivat päällystettä.

Runkoaineekselle asetetaan myös rakeisuusvaatimus. Rakeisuuden tulee sijaita vaadittavalla rakeisuusalueella. Yleensä aines suhteitetaan useammasta eri fraktiosta parhaimman tuloksen saavuttamiseksi. Betonin valmistuksessa on tärkeää määrittää käytettävien materiaalien suhteet siten, että vaatimukset täyttyvät pienimmillä kustannuksilla.

Rauta- ja terästeollisuuden kuonista masuunikuonalla ei ole riittävää kestävyyttä nastarengasliikennettä vastaan. Teräskuonista Rautaruukin teräskuona täyttää lujuutensa ja muotonsa puolesta I-luokan ja Imatran teräskuona II-luokan kiviaineksille asetetut vaatimukset. Teräskuonan käyttöä haittaava tekijä on sen paisumistaipumus, joka voidaan eliminoida vanhentamalla kuona ennen käyttöä.

4.22 Käyttökelpoisuus sideaineeksi

Sopivasti käsiteltynä kuona saa piilevät sitovat ominaisuudet. Riittävät sitovat ominaisuudet voidaan saavuttaa masuunikuonaa granuloimalla tai pelleteimalla. Granulia tai pellettiä jauhamalla saadaan aikaan täysin sementtiä vastaava tuote. Jauhettu granuli saattaa olla aktiivisempaa kuin jauhettu pelletti, Kuonajauheen valmistus pelletistä on kuitenkin nykyisin halvempaa kuin granulista.

Jauhetun kuonan vaikutus on hitaampi kuin sementillä. Varhaislujuudet jäävät selvästi alhaisemmiksi, mutta loppulujuudet voivat nousta sementillä saavutettuja arvoja suuremmiksikin. Jauhetun kuonan tyyppillinen ominaisuus on voimakas ja tasainen lujituksenkehitys vielä pitkään 28 d:n jälkeenkin. Hidas alkulujittuminen saattaa asettaa tiettyjä rajoituksia käytölle, mutta toisaalta se antaa myös lisää työskentelyaikaa. Lujittumisnopeutta voidaan parantaa huomattavastikin eri aktivaattoreiden avulla ja lämpökäsittelyllä. Liiallinen aktivointi heikentää loppulujuutta.

Sidottaessa kiviainesta ei jauhettu kuona toimi ilman aktivaattoria, josta kenties parhain käytön kannalta on sementti toimien itse samalla myös sideaineena. Selvitysten mukaan sementistä voidaan korvata 70 % jauhetulla kuonalla lujuusominaisuuksien ja lujituksenkehityksen oleellisesti kärsimättä. Saadut 90 %:n puristuslujuudet olivat 80-95 % sementillä saadusta lujudesta. Taivutusvetolujuus sitävastoin tuli suuremmaksi kuonaa käytettäessä. /2,6/

Kuonalla saavutettavat betonin lujuusominaisuudet riippuvat samoista tekijöistä kuin sementilläkin ja lisäksi kuonan ja sementin suhteesta sekä muista mahdollisista aktivaattoreista.

4.23 Erityisominaisuudet

Notkeus ja tiivistettävyyys. Jauhetun masuunikuonan käyttö betonin sideaineena parantaa betonimassan työstettävyyttä portlandsementtiin verrattuna, kun massan vesi/sementtisuhde

pysyy muuttumattomana /9/. Lisäämällä kuonan osuutta sideainemäärässä voidaan vesimäärää vähentää notkeuden pysyessä silti ennallaan. Vesi/sementtisuhteen pienetessä paranevat samalla betonin lujuusominaisuudet kuten myös massan koossapysyvyys /1, 18 ja 19/.

Alhainen hydratoitumislämpö on runsaskuonaisten sementtien erikoisominaisuus. Kehittyvä lämmön määrä riippuu masuunikuonan ja portlandsementin suhteesta sekä niiden koostumuksesta /16/. Alhaisen hydratoitumislämmön johdosta kuonasementit soveltuvat massiivisiin rakenteisiin. Kylmissä olosuhteissa on kuitenkin varottava betonin jäätymistä, ennen kuin se on saavuttanut riittävän lujuuden jäätymistä vastaan.

Taivutusvetolujuuteen on masuunikuonabetoneissa sideaineen masuunikuonakomponentilla kohottava vaikutus /3,6/.

Betonin kimmokerroin muuttuu vain hyvin vähän, jos sideainena käytetään osaksi jauhettua masuunikuonaa /3,11/.

Kuonabetonin viruminen kosteissa olosuhteissa on pienempi kuin portlandsementtibetonin ja kuivassa ilmassa kokonaisviruminen on hieman suurempi kuin tavallisen betonin. Virumisen katsotaan olevan oleellisesti molemmilla samanlaista /9/.

Betonin kutistuminen kuivassa ilmassa on masuunikuonaa käyttäen vähäisempää kuin portlandsementtiä käyttäen. Vesisäilytyksessä masuunikuonasta valmistettu betoni paisuu vähän, kun taas portlandsementtibetoni kutistuu hieman /11/.

Suolankestävyys. Betonin kestävyys talvisuolauksessa käytettyä suolaa vastaan parani tutkimuksen mukaan huomattavasti käytettäessä masuunikuonaa sementin ohella sideaineena /2/. Kuonamäärän ollessa 70 % sideaineesta massa täytti suolankestävyyteen vaadittavat normit ilman lisähuokoisuutta /6/. Masuunikuonasementin portlandsementtiä parempaa kestävyys merivettä kohtaan hyödynnetään merirakenteissa.

Kuonaseментin yksi luonteenominaisuus on hyvä kemiallinen kestävyys ja sitä voidaan pitää hyvin sulfaatinkestävänä, jos kuonan osuus sideaineesta on suhteellisen suuri /12,17/.

Terästen korroosiosuojaus. Masuunikuonabetoneilla suorite-
tuissa pitkän ajanjakson tutkimuksissa on kuonaseментistä valmistetun betonin todettu suojaavan hyvin betonin raudoitusta. Kokeiden mukaan meren vaikutukselle alttiissa betoneissa masuunikuonabetoni suojaa paremmin raudoitusta kuin portlandsementti /17/.

Pakkasenkestävyys. Masuunikuonan on todettu jossain tapauksissa parantavan betonin pakkasenkestävyyttä. Jäätymis-sulamiskokeissa, jossa oli 60 kiertoa, ei ulkoisia eroja havaittu eri sideaineiden kesken ja puristuslujuudet olivat samaa tasoa kuin sementilläkin /2,6/. Kiertojen ollessa suuri (>30) rapautuivat pelkkää portlandsementtiä sideaineena sisältävät kappaleet huomattavasti enemmän kuin osin kuonaa sisältävät kappaleet /5/.

Lämpökäsittely. Lämpökäsittelyllä on tehokas vaikutus kuonabetoniin. Voimakkaalla lämpökäsittelyllä masuunikuonabetonin varhaislujuudet voivat olla jopa suuremmat kuin portlandsementtiä sideaineena käytettäessä ja masuunikuonabetonin myöhäislujuuden kadot ovat pienemmät kuin portlandsementtibetonin. Masuunikuonabetonin optimikäsittelylämpötila on huomattavan korkea (noin 90°C). /4/

Väri. Tuore betonimassa, jossa on sideaineena masuunikuonaa, on väriltään huomattavasti vaaleampaa kuin tavallinen portlandsementtibetoni. Sitoutuessaan massa värjäytyy voimakkaan vihreäksi. Ilman kanssa kosketuksissa olevat pinnat eivät värjäydy. Sisällä oleva väri vaalenee ja häviää joutuessaan ilman kanssa kosketuksiin.

4.3 Muut käyttötarkoitukset

4.31 Betoniset reunakivet ja laatat

Vähemmän kulutusta kestäviin paikkoihin voidaan reunakivien ja laattojen runkoaineena käyttää jopa masuunikuonaa. Teräskuona lujutensa puolesta sopii käyttötarkoitukseen paremmin. Sideaineena jauhettu granuloitu masuunikuona soveltuu kemiallisesti vaativiin paikkoihin kuten teollisuustilojen lattioihin yms. Kuonia runkoaineena käytettäessä saadaan pintaan hyvä kitka.

Reunakiviä ja laattoja voidaan myös valaa suoraan sulasta kuonasta.

5. TALOUDELLISET KÄYTTÖEDELLYTYKSET

5.1 Kuonien hinnat v. 1981

Päällysteisiin käytettäväksi soveltuvien kuonamurskeiden ja -jauheiden hinnat toimittajittain ilmenevät taulukosta 10. Hinnat ovat vuoden 1981 hintoja toimituspisteessä.

Taulukko 10. Kuonien hinnat (sis. 14 % lvv) toimituspisteessä v. 1981.

Kuonamurske	Ovako Koverhar	Ovako Imatra	Ovako Virkkala	Rautaruukki Raahe
<u>Masuunikuonat</u>				
0-20 mm	11 mk/t 15,4 mk/m ³			11,5 mk/m ³ 8,2 mk/t
0-32 mm				11 mk/m ³ 7,9 mk/t
0-35 mm murskaamaton	11 mk/t 5 mk/t			
<u>Teräskuonat</u>				
0-20 mm	20 mk/t ₃ 35 mk/m ³	20 mk/t ₃ 35 mk/m ³		11,5 mk/m ³ 6,1 mk/t
Kuonajauhe			212 mk/t	212 mk/t

Kuonajauheen hinta on vuodesta 1981 laskenut ollen vuoden 1982 alusta lähtien 171,44 mk/t.

Ovakon ja Rautaruukin masuuni kuonamurskeiden irtotiheydet ovat noin $1,3 - 1,5 \text{ t/m}^3$. Ovakon sähköteräskuonan ja LD-kuonan irtotiheydet ovat noin $1,7 - 1,8 \text{ t/m}^3$ ja Rautaruukin LD-kuonan irtotiheys noin $1,8 - 2,0 \text{ t/m}^3$.

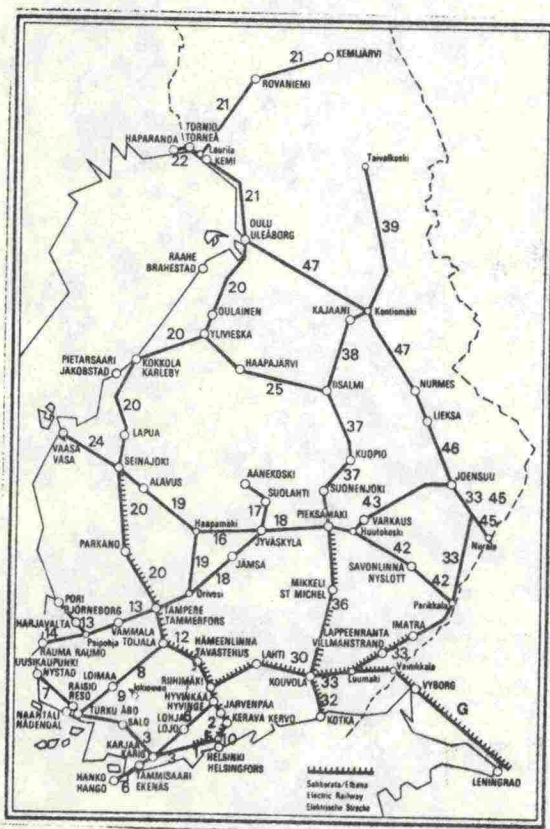
5.2 Kuljetuskustannukset

Kuonien toimituspisteet sijaitsevat siten, että tie-, rautatie- ja vesikuljetus ovat mahdollisia kaikista kolmesta paikasta (Koverhar, Imatra, Raahe).

Kuonien käyttöpisteet sijaitsevat hajallaan eri puolilla maata. Asfalttiasemat ovat yleensä sellaisessa paikassa, jonne tiekuljetus on aina mahdollinen.

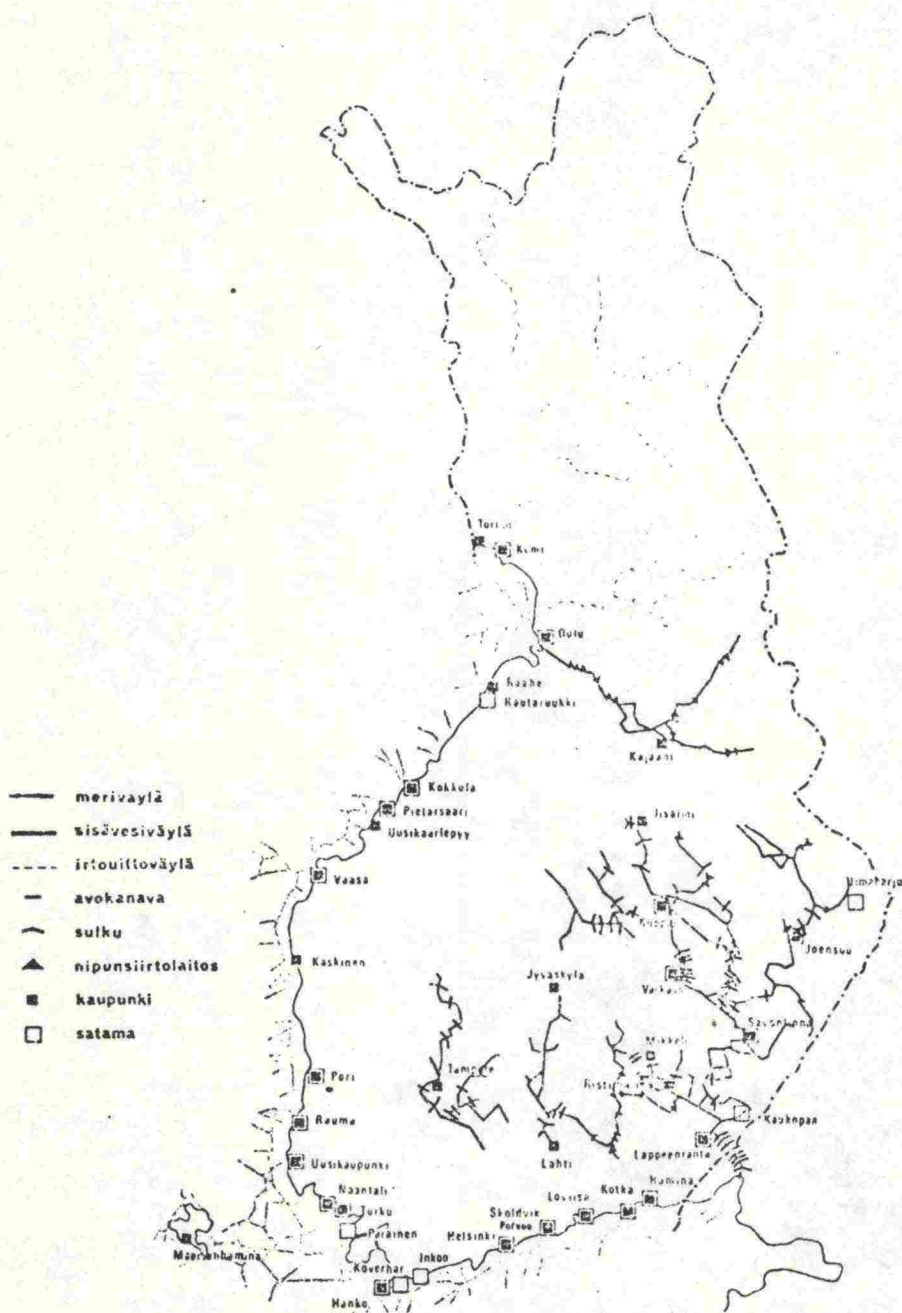
Rautatie- ja vesikuljetus perille asti tulee kyseeseen vain erikoistapauksissa. Niiden jatkoksi joudutaan turvautumaan yleensä tiekuljetukseen.

Rautatiekuljetusreitteinä voivat tulla kysymykseen esim. välit Raahe - Oulu ja Koverhar - Helsinki. Kuvassa 2 ovat Suomen tärkeimmät rautatiet.



Kuva 2. Tärkeimmät rautatiet maassamme

Vesikuljetusreitteinä voivat tulla kysymykseen esim. välit Raahe - Oulu, Raahe - Kokkola, Raahe - Vaasa, Koverhar - Helsinki, Koverhar - Turku, Imatra - Savonlinna, Imatra - Varkaus ja Imatra - Kotka. Kuvassa 3 ovat Suomen tärkeimmät vesitiet ja satamat.



Kuva 3. Tärkeimmät vesitiet ja satamat maassamme

Tiekuljetuksen perustaksa vaihtelee kuljetuksen painon mukaan 5...10 mk/km. Tyhjänä ajo on 3...4 mk/km, lastaus- ja purkausajoilta sekä odotusajalta 70...120 mk/h. Lähisiirroissa on tuntitaksa 120...140 mk/h.

Rautateiden kuljetustariffi kilometriä kohti mk/km on taulukossa 11. Tariffi alenee voimakkaasti matkan pituuden kasvaessa. Muutaman kymmenen kilometrin kuljetusmatkalla se on suunnilleen

11. Rautateiden kuljetustariffi kilometriä kohti
(metallituotteet), mk/km.

Kuorman paino (kahta akselia kohti)	Matkan pituus			
	35 km	100 km	500 km	Yli 1150 km
Tavallinen juna				
15 t	5,00	3,40	1,80	<1,24
25 t	7,51	5,12	2,71	<1,86
40 t	12,66	8,61	4,56	<3,14
Ylimääräinen juna				
15 t	10,77	7,33	3,88	<2,67
25 t	16,20	11,02	5,83	<4,02
40 t	27,28	18,57	9,82	<6,77

autokuljetusten perustaksan tasossa, mutta tulee autokuljetukseen nähden sitä edullisemmaksi, mitä enemmän matka tästä pitenee. Jos tarvitaan ylimääräinen juna, tulee rautatietariffi edullisemmaksi vasta noin 200 - 600 km pitemmällä matkalla.

Vesikuljetusten kustannuksista voidaan todeta, että massavaralla proomukuljetuskustannuksen on eräissä tapauksissa todettu olevan 3 - 4 p/tkm. Hinaajien tuntitaksa on suuruusluokkaa 200 - 500 mk. Odotusajalta se on noin 50 - 200 mk/h. Saimaan vesistössä luotsi- ja kanavamaksut ovat 300 - 4 100 mk/kuljetus. Vesikuljetus on edullinen, jos kuljetusmatka on riittävän pitkä.

5.3 Luonnon kiviainesten saatavuus ja maksetut hinnat v. 1981

Päällystekiviaineksena käytetään sekä luonnon sorasta että kallioulouheesta murskattuja tuotteita. Siirrettävillä asfalttiasemilla murskeiden kuljetusmatka on yleensä lyhyt, mutta kiinteillä asfalttiasemilla kuljetukset voivat olla kymmeniä kilometrejä. Kiinteät asemat sijaitsevat usein kaupungeissa. Niitä on lähes kaikissa Suomen kaupungeissa.

Kiviaineksen saannin kannalta puutealueena voidaan pitää Pohjanmaata. Samoin eräät kaupungit kuten Helsinki ja Vaasa sijaitsevat melko kaukana soraesiintymistä.

TVL:n murskaustuotteiden keskimääräiset yksikköhinnat ovat vuonna 1981 seuraavat:

- murskesora	16 mk/m ³
- kallion louhintaa ja murskaus	23 mk/m ³

Taulukossa 12 on esitetty kiviainesten hinnat murskauspaikalla eri alueilla v. 1981. Kalkkikivitäytejauheen hinta vuonna 1981 on 109,00 mk/t.

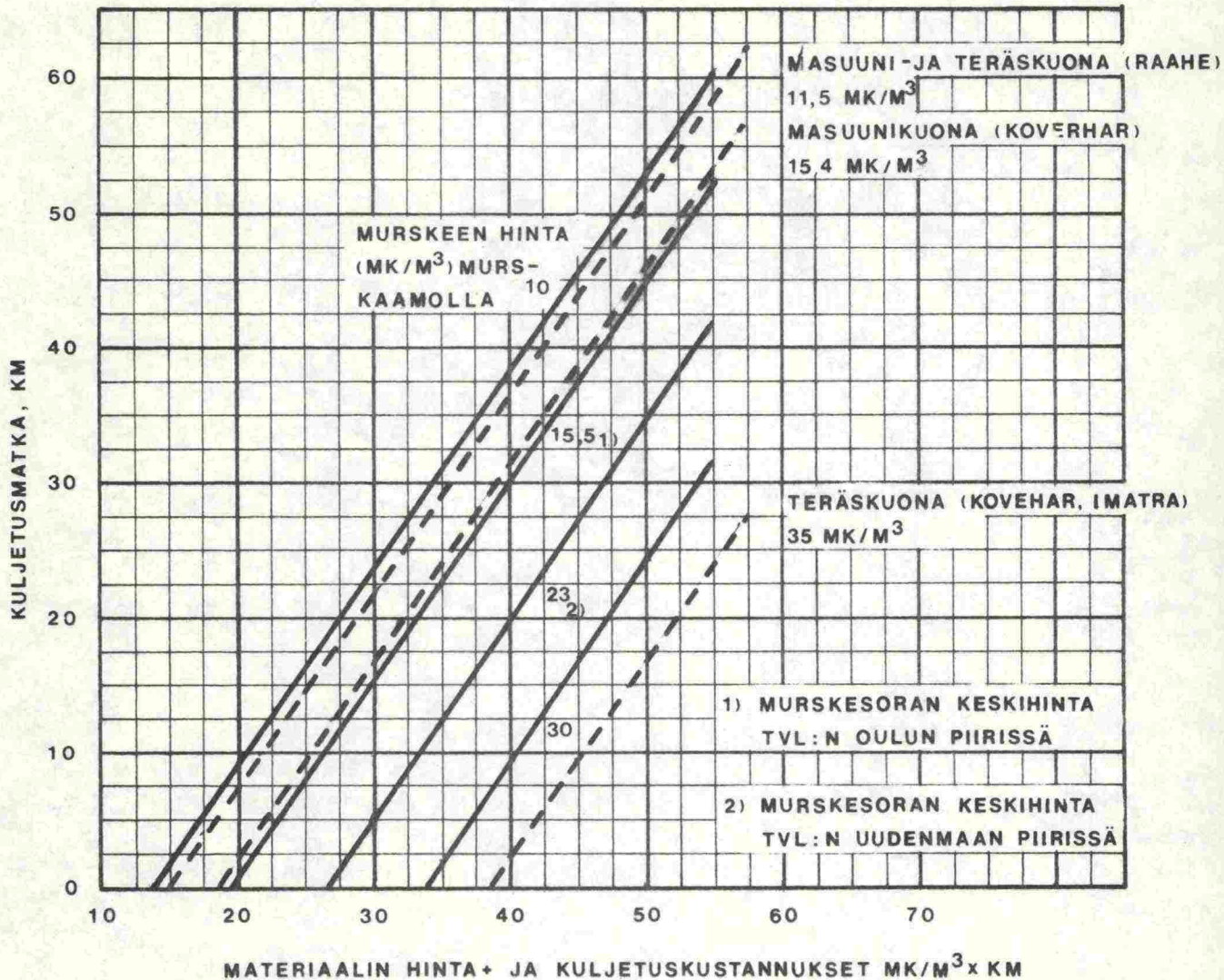
5.4 Kuonien kilpailukyky

Kuonien kilpailukykyyn vaikuttavat kuonatuotteiden hintojen ohella voimakkaasti kuljetuskustannukset.

Kuvassa 4 on esitetty murskesorien sekä kuonamurskeiden kokonaishinta kuljetusmatkan muuttuessa.

Taulukko 12. Kiviainesten kokonaisyksikköhinnat (mk/m³) hankintatavoittain v. 1981.

Raaka-aine louhe							Raaka-aine sora						
Piiri	Hankintatapa						Piiri	Hankintatapa					
	Urakka	Oma-työ	Valm. ost.	Varas-tosta	Ei ratk.	Yh-teen-sä		Urakka	Oma-työ	Valm. ost.	Varas-tosta	Ei ratk.	Yh-teen-sä
Uusimaa	21.28	-	22.96	-	-	22.03	Uusimaa	10.30	21.03	28.77	-	-	23.14
Turku	22.64	-	22.18	-	-	22.53	Turku	12.60	13.77	24.19	-	-	14.31
Häme	18.47	-	-	-	-	18.47	Häme	13.57	14.47	14.15	-	-	13.90
Kymi	30.00	-	-	-	-	30.00	Kymi	14.65	-	16.75	-	15.66	14.91
Mikkeli	-	-	-	-	-	-	Mikkeli	11.94	15.75	15.20	-	-	13.43
Pohjois-Karjala	-	-	-	-	-	-	Pohjois-Karjala	15.93	-	14.67	-	9.63	15.79
Kuopio	27.75	-	-	-	-	-	Kuopio	16.56	17.55	24.87	-	18.50	17.10
Keski-Suomi	21.26	-	-	-	-	-	Keski-Suomi	14.64	14.90	15.00	-	-	14.81
Vaasa	24.74	-	31.84	-	-	25.01	Vaasa	18.00	16.23	16.00	-	23.65	17.56
Keski-Pohjanmaa	27.22	-	15.26	-	-	26.56	Keski-Pohjanmaa	13.23	17.95	21.00	-	14.00	16.77
Oulu	11.15	-	-	-	-	11.15	Oulu	13.20	13.57	24.99	-	-	15.43
Kainuu	27.84	-	-	-	-	27.84	Kainuu	16.07	10.57	-	-	-	15.48
Lappi	13.13	-	-	-	-	13.13	Lappi	15.16	16.55	13.08	-	-	15.27
Koko maa	23.03	-	23.06	-	-	23.04	Koko maa	14.86	16.00	22.06	-	17.67	15.84



Kuva 4. Murskesorien ja kuonamurskeiden kokonaishinnat. Kuljetuskustannukset on laskettu 3-akseliselle kuorma-autolle (10/16) ilman perävaunua /8/. Kuljetuskustannusten lähtöhin-
tana on käytetty 3 mk/m³.

Esimerkiksi Koverharin seudulla on murskesoran keskihinta 23 mk/m³ (taul. 12), joka 15 km:n päähän toimitettuna tekee n. 37 mk/m³. Koverharin masuunikuonaa voidaan samalla koko-
naishinnalla ajaa n. 26 km päähän.

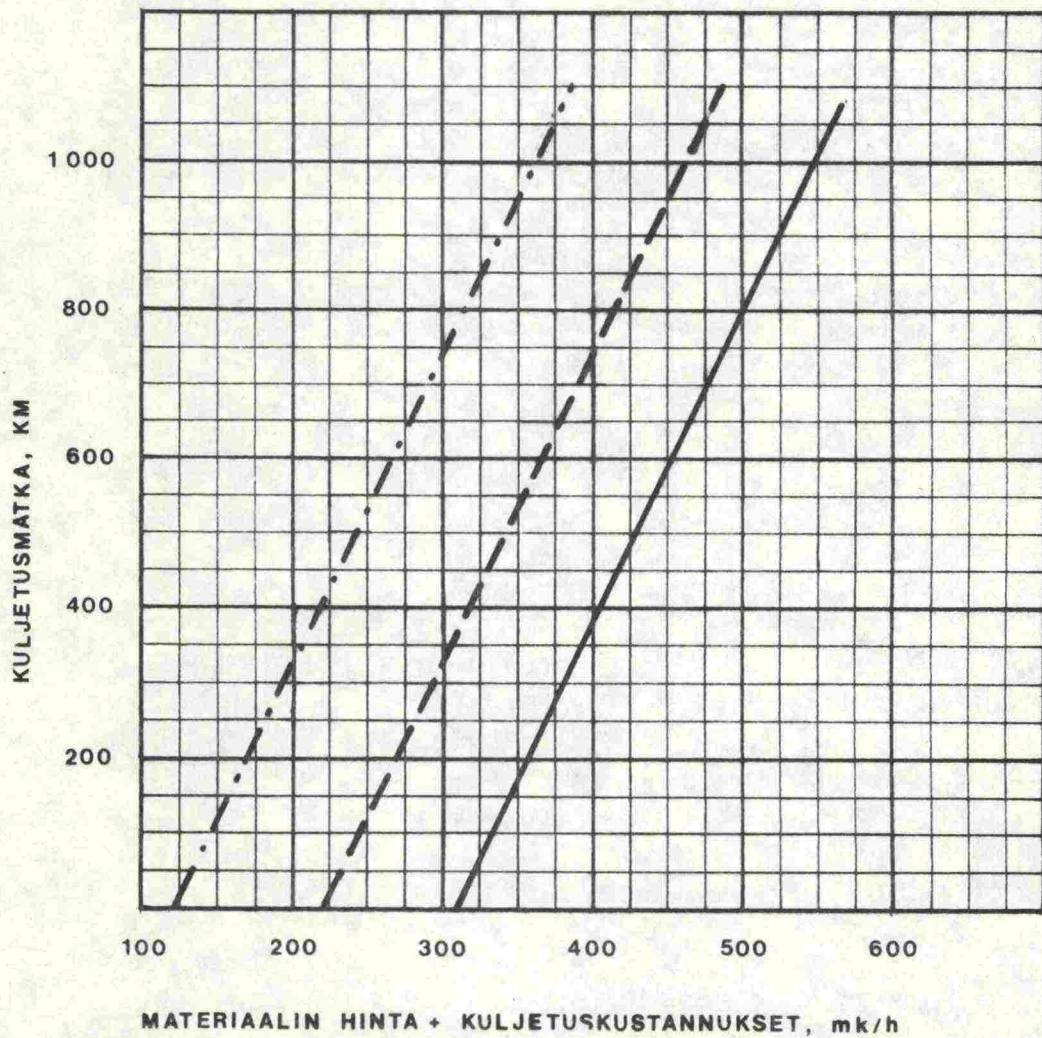
Mikäli esim. Raahen seudulla murskesoran hinta on Oulun piirin keskihinta $15,5 \text{ mk/m}^3$ ja se ajetaan 20 km:n päähän, on kokonaishinta $32,5 \text{ mk/m}^3$. Masuuni- tai teräskuonaa voidaan tällöin ajaa 26 km:n päähän eli 6 km murskesoraa pidemmälle kokonaishinnan nousematta. Vastaavasti Koverharissa voitaisiin masuunikuonaa ajaa noin 11 km murskesoraa pidemmälle silloin, kun murskesoran hinta vastaa Uudenmaan seudun keskihintaa. Kiviainesten hinnat vaihtelevat kuitenkin piirin sisälläkin, eikä piirin keskihinta ole välttämättä oikea vertailuhinta, vaan hintasuhteet määritetään kussakin työssä erikseen. Lisäksi kuonien tiheydet, masuunikuonat luonnon kiviainesta hieman kevyempinä ja teräskuonat raskaampina, saattavat myös vaikuttaa kuljetuskustannuksiin.

Kuvassa 5 on esitetty masuunikuonajauheen, kalkkikivijauheen ja portland sementin kokonaishinnat kuljetusmatkan muuttuessa. Masuunikuonajauheen kilpailukyky asfalttipäällysteen täytejauheena on heikko, koska kalkkikivijauhetta voidaan kuljettaa noin 415 km kokonaishinnan nousematta masuunikuonajauheen kokonaishintaa korkeammalle. Sen sijaan masuunikuonajauheen käyttö betonipäällysteen sideaineena antaa selvästi parempia mahdollisuuksia. Kuvan 5 mukaan masuunikuonajauhetta voidaan kuljettaa noin 385 km, jolloin sen kokonaishinta on yhtä suuri kuin portland-sementin hinta tehtaalla.

— PORTLAND-SEMENTTI, HINTA 300 mk/t
 - - MASUUNIKUONAJAUHE, HINTA 212 mk/t (1981)
 - . - KALKKIKIVIJAUHE, HINTA 109 mk/t

KULJETUSKUSTANNUKSET:

- LÄHTÖHINTA 9 mk/h
 - NOUSUHINTA 0,24 mk/t. km



Kuva 5. Portland sementin, masuunikuonajauheen ja kalkkikivijauheen kokonaishinnat.
 Kuljetuskustannukset on laskettu perävaunulliselle säiliöautolle.

5.5 Liikevaihtoveron, kuljetustuen ja paluukuljetusten vaikutus

Kuonatuotteiden hinnat sisältävät tällä hetkellä 14 % liikevaihtoveron. Luonnon kiviaineksista ei tarvitse maksaa liikevaihtoveroa. Kuonien tuottajat ovatkin esittäneet, että kuonilta poistettaisiin liikevaihtovero.

Kuljetustukea voidaan maksaa kehitysalueella jalostettujen tuotteiden vähintään 266 km pituisille rautatiekuljetuksille tai yli 100 km pituisille laivakuljetuksiin liittyville rautatiekuljetuksille. Sen suuruus vaihtelee matkan pituuden mukaan 5-40 % kuljetusmaksusta.

Vesikuljetuksissa tavaran lähettäjä saa kehitysalueilla alueellista kuljetustukea. Tuen määrä on kehitysalueella olevista Saimaan vesistön satamista 9,95 - 12,45 mk/t.

Mikäli kuonan kuljetus pystytään järjestämään paluukuljetuksena on kustannussäästö noin 20 %.

5.6 Eräiden kuonapäällysteiden ominaisuuksien vaikutus kustannuksiin

Käytettäessä kuonatuotteita asfalttipäällysteen runkoaineena tai täytejauheena tulisi tarkastella mm. seuraavia kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä:

- kuonien hinta tehtaalla ja työpisteessä
- kuonapäällysteiden sideainepitoisuus
- kuonapäällysteiden massamäärä
- kuonapäällysteiden kestävyys (kunnossapitokustannukset ja kestoikä)

Masuunikuonajauheen ollessa betonipäällysteen sideaineena tarkastettavia seikkoja ovat mm.:

- kuonan hinta tehtaalla ja työpisteessä
- käytettävä sideaineen määrä
- kuonabetonipäällysteen lujittumisnopeus
- kuonabetonipäällysteen kestävyys (kunnossapitokustannukset ja kestoikä)

Seuraavassa tarkastelussa on asfalttipäällysteiden osalta mukana vain kuonapäällysteiden sideainepitoisuuden ja massamäärien vaikutus, koska ne ovat samat joka työkohteessa. Kuonien hinnat vaihtelevat eri kohteissa kuljetusmatkojen mukaan, kuten kuvasta 4 nähdään. Kuonapäällysteiden kestävyys on testattu koeradalla, mutta sieltä saatuja tuloksia ei voida suoraan käyttää taloudellisissa tarkasteluissa, vaan on käytettävä kenttäkokeiden tuloksia. Tällä hetkellä on 2 vuotta vanha teräskuonapäällyste (Ovakon LD-teräskuona) kestänyt vt:llä 3 Nurmijärvellä yhtä hyvin kuin vertailupäällyste. Masuunikuonapäällyste (Rautaruukin masuunikuona) on Raahessa 2 vuodessa kulunut noin 2 kertaa vertailupäällystettä enemmän.

Tavanomaisen asfalttipäällysteen materiaalikustannuksia laskettaessa on käytetty seuraavia arvoja:

Murskesoraa 89,3 %, hinta 10,5 mk/t

Täytejauhetta 5 %, hinta 109 "

Sideainetta 5,7 %, hinta 1100 "

Päällystekustannukset saadaan, kun materiaalikustannuksiin lisätään valmistuksesta, kuljetuksesta, pääomasta ja eräistä muista kustannuksista aiheutuneet menot. Tässä tapauksessa on arvioitu, että materiaalikustannukset ovat 60 % päällystekustannuksista. Lisäksi oletetaan tehtävän 4 cm paksuista päällystelaattaa. Tavanomaisen asfalttipäällysteen tiheys on $2,4 \text{ g/cm}^3$ ja massamäärä 100 kg/m^2 .

Taulukosta 13 käy ilmi kuonapäällysteiden suhteellinen hintaero %:ssa tavanomaiseen asfalttipäällysteeseen verrattuna.

Taulukko 13. Kuonapäälysteiden suhteelliset materiaali- ja päälystehintaerot (%) tavanomaisen asfalttipäälysteen hintaan verrattuna (+ kuonapäälyste kalliimpi, - halvempi kuin asfalttipäälyste)

	Masuuni- Kuona (Kover- har, Raahe)	ID-teräskuona (Koverhar)	ID-teräskuona (Raahe)	Sähköteräs- kuona (Imatra)
Sideainepit., %	5,9	6,0	5,7	6,3
suurempi+/ pie- nempi- kuin ver- tailu, %-yks.	+0,2	+0,6	-	+0,6
Vaikutus materi- aalikust.+/-, %	+2,8	+8,5	-	+8,5
Pääll.tiheys, g/cm ³	2,2	2,6	2,35	2,6
Massamäärä 4 cm:n laatassa, kg/m ²	90	110	120	110
Suurempi+/ pie- nempi- kuin vertailu, kg/m ²	-10	+10	+20	+10
Vaikutus materiaa- likust.+/-, %	-10	+10	+20	+10
Yhteensä vaikutus materiaalikust. +/-, %	-7,2	+18,5	+20	+18,5
Vaikutus päälyys- tekust.+/-, %	-4,3	+11,1	+12	+11,1

Käytettäessä masuunikuonajauhetta asfalttipäälysteen täytejauheena ei sideainepitoisuus eikä massamäärä eroa normaalista. Ratkaisevaksi tekijäksi jää siten materiaalin alkuhinta ja kuljetuskustannukset. Verrattaessa pelkkiä masuunikuona- ja kalkkikivijauheen hintoja tehtaalla ilman kuljetuskustannuksia on kuonapäälysteen hinta noin 4 % suurempi.

Masuunikuonajauhetta on käytetty betonipäälysteen sideaineena korvaamaan portland-sementtiä. Käyttökelpoinen suhde on esim. 30 % portland-sementtiä ja 70 % kuonajauhetta. Sideaineen kokonaismäärä on tehdyissä tutkimuksissa ollut yhtä suuri kuin normaalissa betonissa. Kuonabetonipäälyste lujittuu hitaammin kuin tavanomainen betonipäälyste, mikä saattaa vaikuttaa kustannuksiin. Lujittumista voidaan kiih-

dyttää aktivaattorilla, mikä puolestaan myös aiheuttaa kustannuksia. Kuonabetonipäällysteen kestävydestä ei tällä hetkellä ole tietoa.

Mikäli kuonabetonipäällysteen sideaineesta korvataan 70 % kuonalla ja verrataan pelkkiä kuonajauheen ja portland-sementin hintoja tehtaalla ilman kuljetuskustannuksia ovat kuonabetonipäällysteen materiaalikustannukset noin 16 % ja päällystekustannukset noin 8-11 % tavanomaisen betonipäällysteen kustannuksia pienempiä.

6. MAHDOLLISUUDET VAIKUTTA KUONIEN OMINAISUUKSIIN

Kuonien koostumus määräytyy ensisijaisesti prosessimetallurgisten näkökohtien pohjalta huomioiden raudan ja teräksen laatuksymykset ja prosessin taloudellisuuden. Näin ollen varsinaisessa prosessivaiheessa on hyvin rajoitetut mahdollisuudet vaikuttaa kuonien ominaisuuksiin kuonatuotteiden käyttöedellytysten parantamiseksi.

Yhtenä mahdollisuutena olisi modifioida sulaa kuonaa sen lämpösisältöä hyväksi käyttäen erilaisilla ainelisäyksillä metallurgisen prosessin jälkeen. Menetelmä tulee kysymykseen tämän hetken käsityksen mukaan vain siinä tapauksessa, että tähdätään korkean jalostusasteen tuotteisiin. Kappalekuonan ja kuonamurskeiden laadun parantamiseen ei esimerkiksi ole reaalisia edellytyksiä modifioimalla. Sen sijaan sideaineiden osalta tilanne saattaa olla toinen. Suomessa tutkitaan parhaillaan VTT:n toimesta masuunikuonan modifiointimahdollisuuksia erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Kuonan ominaisuuksiin ja käyttökelpoisuuteen voidaan rajoitetussa määrin vaikuttaa jo olemassa olevien käsittelymenetelmien hienosäädöllä ja tarkalla suoritustekniikalla.

Rautaruukki Oy:n Raahan rautatehtaalla on selvitetty diplomityönä masuunikuonan murskaamista tienrakennusmateriaaleiksi /15/. Tutkimuksessa pyritään selvittämään, miten kuonan käsittely ja murskaus tulisi suorittaa, jotta murskaus olisi mahdollisimman taloudellista ja samalla murskeet laadultaan riittävän hyviä tienrakennusmateriaaleiksi.

Jäähdytysaltaan leveydelle (jäähdyvien kuonakerrosten paksuudelle) haettiin optimiarvo, joksi saatiin n. 30 m.

Murskaus on parasta suorittaa joko kaksivaihemurskauksena iskupalkki-karamurskainyhdistelmällä tai kolmivaihemurskauksena leuka-kara-iskupalkkimurskainyhdistelmällä.

Jälkimmäisessä vaihtoehdossa viimeisenä vaiheena oleva iskupalkkimurskain toimii lähinnä "stabiloivana" murskaimena, jolla parannetaan murskeen raekokojakaumaa sekä lujuus- ja muotoarvoja.

7. MUUT KUIN TALOUDELLISET JA TEKNISET KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT SEIKAT

7.1 Asenteet

Muiden kuin perinteisesti käytettyjen raaka-aineiden käyttöön liittyy ennakkoluuloja ja totutusta tavasta poikkeamisen vaikeus. Tämä ilmeni myös kuonakokeiluista keskusteltaessa työmailla. Ennakkoluulojen ja kielteisen asennoitumisen on todettu erityisesti kytkeytyvän jätteiksi nimitettyjen aineiden hyväksikäyttöön. Tästä syystä teollisuusjätteitä onkin ryhdytty kutsumaan teollisuuden sivutuotteiksi. Nimitystä muuttamalla ongelmat tuskin ovat poistettavissa, mutta asennoitumista voitaneen tällä tavoin kuitenkin muuttaa kokeiluille ja hyväksikäytölle suotuisampaan suuntaan. Rauta- ja terästeollisuudessa syntyvien jätteiden käyttöön päällysteiden raaka-aineina suhtautumisessa ei ole ollut rasitteena varsinaisesti jäteaineisiin liittyvät ennakkoluulot ja kielteinen asennoituminen, vaan näiden aineiden huokoisuus ja käsitykset suurten tyhjätilojen epäedullisista vaikutuksista päällysteiden kestävyYTEEN. Kuonien tyhjätilojen täyttämiseen kuluva suuren sideainemäärän on myös arvioitu johtavan kalliisiin päällysteisiin. Osaltaan myönteiseen suhtautumiseen lieneekin vaikuttanut se, että käsiteltävillä aineilla on ollut omat nimitykset, masuuni- ja teräskuona. Asenteiden muuttamiseen voidaan vaikuttaa käytännöstä saaduilla myönteisillä kokemuksilla ja koulutuksella.

7.2 Ohjeitten ja tiedotuksen puute

Kuonapäällysteet poikkeavat siinä määrin tavanomaisista päällysteistä, että ne vaativat omia erityisohjeita kuonapäällysteiden suhteittamiseksi ja tekemiseksi. Tällaisten ohjeitten puute tulkitaan helposti myös siten, ettei kyseistä työtapaa hyväksytä. Ohjeitten laadinta tapauskohtaisesti on siksi suuri työ, että se yleensä jää tekemättä.

Vielä käytettävissä oleva tietokaan ei takaa uuden työmenetelmän käyttöönottoa ja yleistymistä. Hyvänä esimerkkinä tästä voidaan pitää maabetonia, jonka yleistymisen eräänä merkittävänä esteenä on ollut riittämätön tiedotus työn tekemisestä. Uuden asian kentälle vienti edellyttääkin runsaasti eri tavoin tapahtuvaa tiedottamista, erityisesti asian esilletuontia alan koulutustilaisuuksissa. Asiasta tiedottamisessa on tarpeen välttää liiallista kaupallisuutta.

Raaka-aineitten markkinoinnissa on mainonnallisuus sen sijaan tarpeen. Markkinointi materiaalihankintojen kannalta oikeaan aikaan voi tuottaa edullisen tuloksen. Päälystekiviainesten hankintapäätökset tehdään suurimmalta osin vuoden ensimmäisten kuukausien aikana.

7.3 Ympäristönsuojelunäkökohdat

Tärkeimmät käytön edellytykset ovat tekninen soveltuvuus ja taloudellisuus. Toimenpiteiden valintaperusteena käytetään ensisijassa taloudellisuutta. Muitakin valintaperusteita käytetään, mutta tällöin edellytetään yleensä, etteivät kustannuserot eri vaihtoehtojen kesken ole suuria.

Kansantaloudellisesti voidaan useimpien teollisuuden sivutuotteiden hyväksikäyttöä pitää kannattavana. Monissa tapauksissa ovat kuitenkin liiketaloudelliset näkökohdat johtaneet kansantaloudellisesti epäedulliseen lopputulokseen. Sivutuotteiden hinnoittelussa onkin varsin yleisenä ja ilmeisesti virheellisenä hinnoitteluperusteena käytetty korvattavan materiaalin hintaa, jolloin eri aineiden ominaisuuksien ja vaikutusten erot eivät ole tulleet riittävästi huomioonotetuiksi. Kansantaloudellisissa vertailuissa pyritään nykyisin ottamaan tarkoin huomioon mm. raaka-aineiden vaikutukset kestoikiin.

Maaperän ja luonnon suojelemiseksi olisi perusteltua käyttää soraa korvaavia aineksia mahdollisimman paljon. Myös sivutuotteiden varastokasat ovat usein epäesteettisen näköisiä. Maan- kamara-ainesten kaivua koskevien säädösten tultua voimaan vaikeutuu uusien soraesiintymien käyttöönotto ja siten parantuvat kuonamurskeiden käyttöedellytykset. Toistaiseksi ei ole vielä maiseman-, maaperän- tai luonnonsuojelun perustein ryhdytty mainittavasti käyttämään teollisuuden sivutuotteita.

Tärkeää käytettäessä teollisuuden sivutuotteita tienrakennuksessa on, että ainekset ovat veteen liukenemattomia ja pohjavesille haitattomia. Kuonien vaikutuksia pohjavesiin ei ole selvitelty tässä yhteydessä. Yleinen käsitys on, että ne ovat tässä mielessä jotakuinkin haitattomia.

Myöskään kuonien kuumentamisessa ei arvioida muodostuvan itse kuonista haitallisia kaasuja. Eräät kuonakiviainekset saattavat kuitenkin sisältää runsaasti hienoja aineksia ja aiheuttaa siten tavanomaista suurempia pölypäästöjä ympäristöön. Erityisesti tämä todettiin Imatralla Ovako Oy-Ab:n sähköteräskuonalla tehdyssä kokeessa.

Tarvittaessa pölypoistosta aiheutuvat lisäkustannukset on otettava huomioon.

Kuonamurskeiden rakeisuuden suuri vaihtelu johtaa aineksen lajitteluun ja suhteittamiseen useammista lajitteista. Käytettäessä asfalttiasemaa kuonamassan tekemiseen ei eri lajitteiden käytössä ole ongelmia. Sen sijaan öljysora-asemia ei ole yleisesti varustettu useaosaisilla siilostoilla, joten kuonamassan tekemiseen näillä asemilla tarvitaan lisälaitteita ja tästä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia.

Hienojen kuonalajitteiden varastointi työmailla saattaa vaatia kattamista, jottei kasan kastuessa kuonat paakkuunnu. Kuonakasojen peittämisestä ja kuonien suojaamisesta kuljetusten aikana aiheutuu lisätyötä ja kustannuksia. Toisaalta saadaan kuivatus- ja kuumennusvaiheessa säästöä pienempien energiakustannusten vuoksi. Tehdyissä kenttäkokeissa ei ongelma laajemmassa mittakaavassa ole tullut esiin. Imatran kokeen aikana esiintynyt vähäinen sade ei aiheuttanut vaikeuksia.

Kuona-aineksen syöttö siiloista kuljettimelle on vaikeampaa kuin tavanomaisen kiviaineksen kuonakivien pinnan kitkaisuuden vuoksi. Kuonan holvaantumista tehdyissä kenttäkokeissa ei varmuudella todettu, epätasaisuutta syötössä esiintyi runsaasti. Tämä näkyi myös massan rakeisuustuloksissa. Myös sideaineen sekoittaminen vaatinee hieman tavanomaista enemmän työtä. Etuna voidaan mainita, ettei massa ole lajittumisherkkää ja sideaineen pintaannousuvaara on vähäinen. Massan levittäminen vaatii suuremman peräkulman asetuksen kuin asfalttibetonissa.

Kuonapäällysteiden tekemiseen liittyneet vaikeudet olivat siten tavanomaisia lukuunottamatta hienojen kuonien mahdollista kovettumista niiden päästessä pahoin kastumaan. Mahdollisten kuonabetonipäällysteiden teossa ei tätäkään vaikeutta tulisi olemaan, koska kuonasementti varastoitaisiin siiloihin kuten kalkkikivijauhe nykyisin.

8. YHTEENVETO

Päällystealan neuvottelukunnan (PANK) työryhmä on selvittänyt terästeollisuuden kuonien käyttömahdollisuuksia tienpäällysteissä. Ovako Oy-Ab:n ja Rautaruukki Oy:n tehtaila syntyy nykyisin masuunikuonaa sekä kahdenlaista teräskuonaa: LD-teräskuonaa ja sähköteräskuonaa. Kuonia voidaan käsitellä ja jalostaa eri tavoin.

Masuunikuona syntyy sivutuotteena raakaraudan valmistuksessa pelkistettäessä rautaoksidia hiilen avulla malmirikasteen sivukivestä sekä koksista ja kalkkikivestä. Masuunikuona koostuu pääasiassa kalsium-, pii-, alumiini- ja magnesiumoksideista. Eri masuunien kuonat eroavat koostumukseltaan hieman toisistaan johtuen käytettävistä raaka-aineista. Masuunista poistettaessa kuona on sulassa tilassa, jolloin sitä voidaan käsitellä eri tavoin ja saada erilaisia tuotteita, kuten ilmajäähdytetty, granuloitu tai pelleteoitu masuunikuona sekä hohkakuona ja kuonavilla. Jatkojalosteena on edelleen mahdollista saada jauhettua masuunikuonaa. Päällysteissä voitaisiin eri tuotteista käyttää ilmajäähdytettyä masuunikuonaa murskattuna asfalttipäällysteen tai kevytpäällysteiden runkoaineena ja jauhettua masuunikuonaa asfalttipäällysteen täytejauheena tai betonipäällysteen sideaineena. Masuunikuonia syntyy vuosittain Rautaruukki Oy:n Raahan tehtaalla noin 450 000 t ja Ovako Oy-Ab:n Koverharin tehtaalla noin 150 000 t.

LD-teräskuonaa syntyy jatkojalostettaessa raakarautaa teräksiksi. Sähköteräskuona syntyy erilaisessa prosessissa ja lisäksi teräksen valmistuksessa käytetään raaka-aineena lähinnä rautaromua. LD-teräskuona koostuu pääosin kalsium-, pii- ja rautaoksidista. Kuonan sisältäessä rautaa palautetaan huomattava osa siitä uudelleen prosessiin. Sähköteräskuonan pääkomponentit ovat: kalsium-, pii-, alumiini- ja magnesiumoksidit. Molempien kuonien annetaan jäähtyä kuonapenkassa, jonka jälkeen ne murskataan haluttuun raekokoon. Teräskuonien käytössä on huomioitava tuoreen kuonan taipumus laajentumiseen. Tämän johdosta kuonia on käytännössä säilytettävä vähintään 6 kk varastokasassa ennen käyttöä. Päällysteissä voitaisiin teräskuonia käyttää asfalttipäällysteen tai kevytpäällysteiden runkoaineena.

LD-teräskuonaa syntyy vuosittain Rautaruukki Oy:n Raahen tehtaalla noin 170 000 t, josta prosessiin palautuksen jälkeen jää käyttöön noin 40 000 t. Ovako Oy Ab:n Koverharin tehtaalla syntyy LD-kuonaa noin 25 000 t. Sähköteräskuonaa syntyy Ovako Oy-Ab:n Imatran tehtaalla noin 25 000 t/a.

Kuonien tuottajat ovat pyrkineet löytämään kuonille erilaisia käyttöaloja käsittelemällä ja jatkojalostamalla kuonia eri tavoin. Ilmajäähdytetyn, murskatun masuunikuonan tärkeimmät mahdolliset käyttöalat ovat betoniteollisuudessa runkoaineena, rautatien, kenttien ym. rakennuksessa rakennemateriaalina, mineraalivillateollisuuden raaka-aineena, tien- ja kadunrakennuksen rakennekerroksissa sekä asfalttipäällysteen runkoaineena. Granuloidun masuunikuonan käyttöalat ovat tien- ja kadunrakennuksen rakennekerrokset sekä käyttö maanparannus- ja hiekkapuhallusaineena. Pelletoidun masuunikuonan käyttötavat ovat kevennys- ja eristysmateriaalina maarakennuskohteissa sekä betoniteollisuudessa runkoaineena. Jauhetun masuunikuonan tärkeimmät käyttöalat ovat sideaineena betoniteollisuudessa, betonipäällysteessä ja maabetonissa sekä täytejauheena asfalttipäällysteessä. Teräskuonien käyttö on suuntautunut raaka-aineeksi sementtiteollisuudessa, maanparannusaineeksi, teiden ja katujen rakennekerrokseen sekä asfalttipäällysteen runkoaineeksi.

Tällä hetkellä käytetään Suomessa syntyvästä masuunikuonasta n. 53 % pääasiassa tien- ja kadunrakennuksessa rakennemateriaaleina. LD-teräskuonista käytetään n. 58 %, josta pääosan muodostavat palautus prosessiin ja käyttö betoniteollisuuden raaka-aineena.

Kaikki vuosittain syntyvä sähköteräskuona on pystytty käyttämään erilaisiin tien- ja kadunrakennuksen kohteisiin rakennemateriaaleina.

Kuonien käyttökelpoisuutta päällysteisiin on selvitetty lukuisissa tutkimuksissa. Kuonamurskeiden laatututkimuksissa ovat masuunikuonat kuuluneet luokkaan III (asfalttinormien luokitus), Ovako Oy-Ab:n LD-teräskuona ja sähköteräskuona

luokkaan II ja Rautaruukki Oy:n LD-teräskuona luokkaan I. Huokoisuus on kuonille ominainen piirre, masuunikuonien ollessa kaikkein huokoisempia. Kiintotiheydeltään masuunikuona on luonnon kiviaineksen luokkaa, teräskuonien ollessa melkoisesti raskaampia.

Käytettäessä kuonamurskeita asfalttipäällysteisiin ne ovat vaatineet saman tai hieman suuremman sideainepitoisuuden kuin luonnon kiviaineksesta tehtyt vertailupäällysteet. Masuunikuonaa runkoaineena käytettäessä sideainepitoisuuden kasvu on ollut 0 - 1,0 %-yks., LD-teräskuonaa käytettäessä 0 - 0,6 %-yks. ja sähköteräskuonalla 0,5-0,7 %-yks. Masuunikuonapäällysteiden tyhjätilat ovat olleet suuria, luokkaa 13 - 14 %, sähköteräskuonapäällysteen tyhjätila on ollut 8 - 10 % ja LD-teräskuonien osalla tyhjätilat ovat olleet 5 - 6 % luokkaa. Tarvittavat massamäärät ovat masuunikuonapäällysteillä olleet jonkin verran pienemmät ja teräskuonapäällysteillä suuremmat kuin vertailupäällysteillä.

Koeradalla nastarenkailla tehdyssä kulutuskokeessa kuluivat masuunikuonapäällysteet 4 - 5 kertaa vertailupäällystettä enemmän, joten ne eivät kestä vilkasliikenteisten ajoratojen nastarengasliikennettä. LD-teräskuonasta tehtyt päällysteet ovat koeradalla kuluneet 1,2 - 1,3 kertaa ja sähköteräskuonapäällyste 1,7 kertaa enemmän kuin vertailupäällyste.

Tehdyissä kenttäkokeissa ovat LD-teräskuonasta tehtyt asfalttipäällysteet tähän mennessä kestäneet yhtä hyvin kuin vertailupäällysteet. Masuunikuonasta tehty asfalttipäällyste ja kevytasfalttipäällyste on kulunut kahdessa vuodessa n. kaksi kertaa vertailupäällystettä enemmän. LD-teräskuonasta tehty öljysora oli vuoden ikäisenä syksynä hyvässä kunnossa. Kitka uudella kuonapäällysteellä on ollut vertailupäällystettä parempi. Tämän jälkeen kitka laskee ja vt:llä 3 saatiin vuoden kuluttua vertailupäällystettä pienempiä kitka-arvoja. Plastisen deformaation kestävyys kuonapäällysteillä on ilmeisen hyvä, niiden marshall-suhde (marshall-lujuuden suhde kokoonpuristumaan) on ollut vertailupäällysteitä suurempi. Sähköteräs-

kuona runkoaineena tehty asfalttipäällyste purkautui vuoden ikäisenä. Masuunikuonan käytöstä öljysoran runkoaineena on saatu sekä hyviä että huonoja kokouksia.

Masuunikuonajauhetta voidaan tehtyjen laboratoriokeiden perusteella käyttää asfalttipäällysteen täytejauheena. Kuonajauhetta käyttäen tehty päällyste tulee n. 40 % kalliimmaksi, kun täytejauheen kuljetuskustannuksia ei oteta huomioon.

Kuonien käytöstä betonipäällysteissä on tähän mennessä tehty joitakin esiselvityksiä. On ilmeistä, että kuonan käyttö suuntautuu masuunikuonajauheen käyttöön sideaineena korvaamaan portland-sementtiä. Tyypillinen kuonajauheen käytöllä saavutettava ominaisuus on betonin hidas alkulujittuminen, toisaalta loppulujuudet saattavat nousta sementillä saavutettuja arvoja suuremmiksi. Lujittumisnopeutta voidaan parantaa aktivaattoreilla, mutta liiallinen aktivointi heikentää loppulujuutta. Paras aktivaattori lienee portland-sementti toimien itse samalla sideaineena. Korvattaessa 80 % sementistä kuonalla saatiin 90 d:n loppulujuuksiksi 80 - 90 % pelkällä portland-sementillä saadusta lujuudesta. Kuonabetonipäällysteen (sideaineesta korvattu 70 % kuonajauheella) rakentaminen tulee n. 8 - 11 % halvemmaksi kuin betonipäällysteen rakentaminen, jos sideaineen kuljetuskustannuseroja ei oteta huomioon.

Käytettäessä masuunikuonajauhetta sideaineena on havaittu myös eräitä erityisominaisuuksia: betonimassan työstettävyys paranee, hydratoitumislämpö on alhainen ja saavutetaan hyvä suolankestävyys. Lisäksi pakkansenkestävyys paranee.

Kuonien taloudelliset käyttöedellytykset päällysteissä riippuvat ensinnäkin kuonien hinnoista toimituspisteessä ja kuljetusmatkasta työmaalle. Hintaa työmaalla verrataan kyseisellä alueella luonnon kiviaineksesta ja sen kuljetuksesta maksettavaan hintaan. Kuonamurskeiden hinnat toimituspisteissä v. 1981 vaihtelevat välillä 11 - 35 mk/m³. Valittu kuljetusmuoto vaikuttaa kuljetuksesta aiheutuviin kustannuksiin. Kuonien toimituspisteistä (Koverhar, Imatra, Raahe) ovat mahdollisia sekä tie-, rautatie- että vesikuljetukset.

Kuonien taloudellisiin käyttöedellytyksiin asfalttipääallysteissä vaikuttavat lisäksi sideainepitoisuus, massamäärä ja kestoikä. Tarvittavien sideainepitoisuuksien ja massamäärien perusteella laskettuna ovat masuunikuonapääallysteet noin 4 % halvempia ja teräskuonapääallysteet noin 11 - 12 % kalliimpia kuin vertailupääallysteet. Masuunipääallysteen kestoikä näyttää tehtyjen koerata-ajojen ja kenttäkokeiden mukaan olevan kuitenkin huomattavasti normaali pääallysteen kestoikää lyhyempi luokuonottamatta mahdollisesti öljysoraa. Myöskin sähköteräskuonapääallysteen kestoikä näyttäisi olevan varsin paljon alhaisempi kuin normaali pääallysteen. LD-teräskuonaa käyttäen tehdyt pääallysteet ovat sekä koerata-ajoissa että kenttäkokeissa kestäneet lähes yhtä hyvin kuin vertailupääallysteet.

Kuonien ominaisuuksiin varsinaisessa prosessivaiheessa ei paljoakaan voida vaikuttaa. Eräs mahdollisuus olisi modifioida sulaa kuonaa erilaisilla ainelisäyksillä metallurgisen prosessin jälkeen. Modifiointitutkimuksia ollaan tällä hetkellä käynnistämässä. Kuonien nykyisten käsittelymenetelmien hienosäädöllä ja tarkalla työn suorituksella voidaan rajoitetusti vaikuttaa kuonien ominaisuuksiin.

Kuonapääallysteiden suhteituksessa ja rakentamisessa on joitakin erityispiirteitä, jotka tulee ottaa huomioon. Kuonat ovat huokoisia, niiden tiheys saattaa poiketa normaalista ja rakeisuudessa esiintyä vaihteluja. Kenttäkokeissa asfalttimassat ovat yleensä vaatineet hieman korkeamman sekoituslämpötilan ja huolellisen sekoituksen. Levittimen peräkulmaa voidaan joutua muuttamaan ja jyräyksessä on otettava huomioon massojen jäykkyys ja nopeampi tiivistyminen.

Maaperän- ja maisemansuojelu näkökohdat puoltavat luonnon soraa korvaavien aineksien käyttöä mahdollisimman paljon. Luonnonvarojen säästämiseksi voitaneenkin kuonien hyödyntämistä pitää perusteltuna. Tekniset ja taloudelliset näkökohdat huomioonottaen tulee kuonien käyttö oheisen selvityksen mukaan tulla lähinnä kyseeseen seuraavissa pääallystetarkoituksissa:

- masuunikuonan käyttö öljysorassa
- LD-teräskuonien käyttö asfalttibetonissa ja öljysorassa, ilmeisesti myös kevytasfalttibetonissa
- masuunikuonajauheen käyttö betonipäällysteen, betonisten reunakivien ym. betonituotteiden valmistuksessa

KIRJALLISUUSLUETTELO

- /1/ BERGSTRÖM" S. SÄLLSTRÖM, S., Utredning av förutsättnin-
garna för att i Sverige använda masugns slag för inbland-
ning i portlandcement till sk. slaggcement STU-utrednin.
1977 nr 60. 34 s.
- /2/ Esitutkimus terästeollisuuden jauhettujen kuonien käytös-
tä betonipääallysteissä. Laat. R. Alkio. Espoo 1980. Val-
tion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelabora-
torio. Tutkimusselostus 197. 15 s.
- /3/ FULTON, F. S., The proterties of portland cements
containing milled granulated blastfurnace slag. A port-
land cement institute monograph. The portland cement
institute. Johannesburg 1974. 47 s.
- /4/ HAKKARAINEN, T. HIRSI, H. & KANERVA, P., Masuunikuonan
soveltuvuus lämpökäsiteltävän betonin sideaineeksi.
Helsingin teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan
laitos. Julkaisu 24.
- /5/ HAKKARAINEN, T., Masuunikuonabetonin pakkasenkestävyys.
Espoo 1980. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööri-
osasto, huoneenrakennustekniikka.
- /6/ Jatkotutkimus terästeollisuuden jauhettujen kuonien käy-
töstä betonipääallysteissä. Espoo 1981. Laat. R. Alkio.
Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikenne-
laboratorio. Tutkimuskeskus 282.
- /7/ KOIVUNIEMI, M., Masuunikuonan käytöstä bitumilla sido-
tuissa kerroksissa. Oulu 1979. Oulun yliopisto, rakennus-
tekniikan laitos. Diplomityö. 71 s + liitteet.
- /8/ Kuljetusmaksut kuorma-autokuljetuksissa tie- ja vesi-
rakennuslaitoksen omassa johdossa tehtävissä töissä.
Helsinki 1981. TVH 731595. 20 s + liitteitä 3 s.

- /9/ LEA, F.M., The chemistry of cement and concrete.
London 1970. Edward Arnol Ltd. s. 454-490.
- /10/ Masuunikuona asflattibetonin runkoaineena. Oulu 1980.
Oulun Yliopisto, rakentamistekniikan osasto. Erikoistyö.
21 s.
- /11/ NEVILLE, A., BROOK, J., Time-dependent behavior of
Cementsave concrete. Concrete 9 (1975), 3, s. 36-39.
- /12/ NURSE, R., Slag Cements in The Chemistry of Cements.
Edited by Taylor, H., Academic Press, London and
New York 1964. Vol. 2, s. 42-66.
- /13/ Päällystekoetie Nurmijärvellä 1979. Espoo 1980, Laat.
E. Manninen, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-
ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 186.
60 s + liitteet.
- /14/ REEVES, C., Tomorrow's concrete. Concrets Society,
Yorkshire and Humbshire Reagion, Sumposium 16th
October 1975. 18 s.
- /15/ RÄINÄ, M., Masuunikuonan murskaaminen tienrakennusmate-
riaaleiksi. Oulu 1980. Oulun yliopisto, rakennustekninen
osasto. Diplomityö 109 s + liitteet.
- /16/ SCHRÖDER, F., Blastfurnace slags and slagcements.
Proceedings of the 5th international symposium on the
chemistry of cement. Tokyo 1968. Vol. 4, Principol paper,
s. 149 - 199.
- /17/ SCHRÖDER, F., SMOLCZYK, H., Special properties of vlast-
furnace slag cements, Proceedings of the 5th internatio-
nal symposium on the chemistry of cement. Tokyo 1968.
Vol. 4, s. 179 - 191.
- /18/ STUTTERHIEM, N., Portland blastfurnace cements.
A case for reparate grindning of slag. 6th international
symposium on the chemistry of cement. Tokyo 1968.
Proceedings, port IV. s. 270 - 274.

- /19/ TAYLOR, I.F., Cutting costs with slag cement.
Civil engineering and public works rev. Longon 1974.
813 s. 45, 47, 49.
- /20/ Terästeollisuuden kuonien käyttö tienpäällysteissä,
kenttätutkimukset vuonna 1980. Espoo 1981. Laat. E. Manninen.
Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 234. 22 s + liitteet.
- /21/ Terästeollisuuden kuonien käyttö tienpäällysteissä,
laboratoriotutkimus. Espoo 1980. Laat. E. Manninen.
Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 207. 22 s + liitteet.
- /22/ Terästeollisuuden kuonien käyttö tienpäällysteissä,
kenttätutkimukset 1981. Espoo 1982. Laat. E. Manninen.
Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja vesirakennuslaboratorio. Tutkimusselostus 299. 44 s + liitteet.
- EEROLA, M., ALKIO, R., Rauta- ja terästeollisuuden kuonat
sitoutuvana tienrakennusmateriaalina, Espoo 1980. Valtion
teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio.
Tiedonanto 56.
- EHROLA, E., Masuunikuonan käytöstä tierakenteissa, Oulu 1977.
Oulun yliopisto, tie- ja maarakennustekniikan laitos.
Julkaisu 23.
- HAKKARAINEN, T., HIRSI, H., KANERVA, P., Masuunikuona betonin
sideaineena. Espoo 1980. Helsingin teknillinen korkeakoulu,
rakennetekniikan laitos. Julkaisu 25.
- HAKKARAINEN, T., Lisäaineiden käyttö masuunikuonabetonissa.
Espoo 1980. Helsingin teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan laitos. Julkaisu 29.
- KAJAUS, E., Kuonalla käyttöä tiessä ja talossa. Tutkimus ja
tekniikka 8/1978, s. 21 - 28.

MANKINEN, J., Masuunikuonan käytöstä lämmöneristysmateriaalina tierakenteissa. Oulu 1968. Oulun yliopisto, diplomityö.

NIEMINEN, P., Jauhettu masuunikuona maastabiloinnin sideaineena. Tie- ja liikenne 4 (1980), s. 197 - 199.

POIJÄRVI, H., Metallurgisen teollisuuden sivutuotteiden käytömahdollisuudet rakennusteollisuudessa. Vuoriteollisuus nro 2 (1977), s. 138 - 143.

VUONTISJÄRVI, E., Kokemuksia masuunikuonan käytöstä lämmöneristeenä Rautaruukki Oy:n koetiellä vuosina 1967 - 1970. Oulu 1971. Oulun yliopisto, diplomityö.

ISBN 951-46-5512-5